

CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE *Quercus cerris*

Análise anatómica, análise dendrocronológica e ensaios de dureza

Telma Filipa Chaves Pinto Nunes

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais

Orientadores: Doutora Sofia Knapic de Soares Ferreira
Doutora Helena Margarida Nunes Pereira

Júri:

Presidente: Doutor Jorge Manuel Barros de Almeida Gominho, Investigador auxiliar, Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutora Lina Maria Ribeiro Nunes, Investigadora auxiliar, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Doutora Sofia Knapic de Soares Ferreira, Bolseira Pós-Doutoramento, Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à minha orientadora, Doutora Sofia Knapic pela proposta do tema de trabalho e por todo o apoio e dedicação durante a elaboração de toda a parte experimental e de escrita do trabalho. Foram muitas horas a cortar tábuas!

Agradeço à Doutora Helena Pereira, pela revisão e enriquecimento desta dissertação desde o seu planeamento.

Obrigado à Alexandra Lauw pela ajuda essencial na realização do trabalho experimental de dendrocronologia. Obrigado pela partilha dos conhecimentos e experiências!

Agradeço também à Helena, muitas vezes companheira de laboratório e oficinas, sempre pronta a ajudar!

Um agradecimento especial à Doutora Vicelina Sousa pelo acompanhamento no laboratório de anatomia e pela ajuda fundamental no tratamento de todos os resultados, sempre dedicada e incansável! Obrigada! Um obrigado especial à Doutora Teresa Quilhó por todas as conversas essenciais ao longo do desenvolvimento do trabalho e pela disponibilidade e carinho sempre demonstrados.

Agradeço a todos com os quais tive o privilégio de conhecer no LNEC, em especial à Doutora Lina Nunes pela oportunidade de fazer os ensaios de dureza e por todo o acompanhamento no delineamento do ensaio e pelos comentários na revisão do trabalho; ao Cláudio pelo corte dos provetes de ensaios; ao Engenheiro António Silva pelo acompanhamento e realização dos ensaios de dureza e à Marta Duarte por todo o tempo que partilhámos nos laboratórios do LNEC e ajuda essencial na organização e preparação dos ensaios de dureza.

Um grande obrigado à Vanda Oliveira pela partilha do seu trabalho para as “packages do R”, sem o qual nunca teria conseguido fazer todo o tratamento estatístico de toda a parte de análise dos sinais climáticos!

Um obrigado às colegas de curso, que acabaram por se tornar grandes amigas Ana Rita Pimenta, Sara Lopes e Carolina Magno, assim como à Cátia Magalhães por toda a amizade e por todas as partilhas que fizemos ao longo do curso e principalmente na reta final.

À minha família e em especial ao meu marido Pedro Nunes, pelo incentivo permanente e por ser incansável no alívio dos momentos mais difíceis no decorrer do trabalho. Obrigado por não me deixares desistir!

RESUMO

No presente trabalho estudou-se a madeira de *Quercus cerris* (carvalho-da-Turquia) com origem em dois locais (Blinaja e Dubočak) do Kosovo, área caracterizada por possuir um clima continental. O estudo assentou em várias análises, tendo-se feito uma análise anatómica de vários parâmetros dimensionais dos vasos; um estudo dendroclimático, identificando sinais climáticos relevantes com recurso a técnicas dendrocronológicas e uma análise da dureza através da determinação da dureza de Brinell.

Os resultados mostraram que ao nível da anatomia dos vasos o *Q. cerris* possui características semelhantes a outras espécies do mesmo género, como por exemplo o *Q. faginea*, verificando-se que com o aumento da idade o número de vasos tende a diminuir, enquanto que a frequência se mantém relativamente constante e a proporção apresenta um ligeiro aumento. Obtiveram-se relações significativas ($p < 0,01$ e $p < 0,05$) entre os vários parâmetros analisados.

A análise dendroclimatológica efetuada demonstrou que, tal como acontece para o crescimento desta espécie em climas mediterrânicos, a precipitação do início da primavera do ano corrente e no mês de outubro do ano anterior tem influência no crescimento radial desta espécie, apesar da fraca qualidade das cronologias analisadas neste trabalho que não permitiram uma conclusão sólida quanto a estes fatores.

Obteve-se um valor de dureza médio superior para a madeira da parcela de Blinaja (38,48 N.mm²) quando comparado com a parcela de Dubočak (33,90 N.mm²). Os valores obtidos permitiram classificar a madeira dos dois locais como apta para a utilização em todos os tipos de pavimento doméstico e em áreas comerciais com uso moderado.

Palavras-chave: dendroclimatologia, dureza, *Quercus cerris*, anéis de crescimento, vasos

ABSTRACT

The present work studied the *Quercus cerris* (turkey oak) wood from two different origins (Blinaja and Dubočak) at Kosovo area characterized by a continental climate. This study was supported by several analysis: an anatomical analysis through the dimensional parameters of vessels, a dendroclimatology study where relevant climate signs were identified using dendrocronology techniques, and a hardness analysis through the determination of Brinell's hardness.

The results show that, concerning the vessels anatomy, *Q. cerris* has characteristics similar to the other species of the same genus, namely *Q. faginea*, as both decrease the number of vessels with the increase of age, while the frequency of vessels is somewhat constant and the proportion slightly increases. In this study, significant relations were obtained ($p < 0,01$ e $p < 0,05$) between the several parameters analyzed.

The dendroclimatology analysis performed demonstrated that, as it happens at Mediterranean climates, the precipitation in the beginning of the current year's spring and in the last year's Autumn affects the radial growth of this specie. However, it must be noted that the lack of detail of the chronologies used in this work may induce some uncertainty to this conclusion.

Concerning the hardness analysis, Blinaja's samples demonstrated an average value (38,48 N.mm²) higher than Dubočak's (33,90 N.mm²). These values validate the use of *Q. cerris* from both locations can be used as pavement for both domestic and commercial applications, with moderate use.

Key-words: dendroclimatology, hardness, *Quercus cerris*, tree-ring, vessels

ÍNDICE

Agradecimentos.....	I
Resumo	II
Abstract.....	III
Índice	1
Índice de imagens	2
Índice de tabelas	3
Índice de fórmulas	4
1.Introdução.....	5
1.1. Características do Quercus cerris	5
1.1.1. Classificação taxonómica e descrição botânica.....	5
1.1.2.Distribuição geográfica e condições edafoclimáticas.....	6
1.1.3. Utilização da madeira de carvalho (Quercus spp.) em Portugal.....	7
1.2. Objetivos & Estrutura da tese.....	9
2. Formação e Caracterização da madeira	10
2.1. Anatomia	11
2.2. Anéis de crescimento	12
2.3. Dendrocronologia	12
2.4. Propriedades físicas e mecânicas.....	15
3. Material e Métodos	18
3.1. Dados Climáticos.....	20
3.2. Medição dos anéis de crescimento	20
3.2.1. Construção de cronologias e identificação de sinais climáticos	21
3.3. Análise anatómica: vasos.....	23
3.4. Ensaio de dureza.....	25
4. Resultados & Discussão.....	28
4.1. Análise anatómica	28
4.2 Dendroclimatologia.....	33
4.2.1. Medição dos anéis de crescimento e padronização das séries cronológicas	33
4.2.2. Identificação de sinais climáticos	39
4.2.2.1 Coeficientes de correlação.....	40
4.2.2.2. Correlações entre precipitação acumulada e as temperaturas médias.....	44
4.2.2.3. Análise de estabilidade temporal das relações dendroclimáticas – temperatura e precipitação	46
4.2.2.4. Análise de correlações temporais	50
4.3. Determinação da dureza de Brinell	54
5. Conclusões.....	56
6. Referências Bibliográficas.....	57

ÍNDICE DE IMAGENS

Figura 1. a - Árvore da espécie <i>Q. cerris</i> numa zona agrícola na Sul de Itália (Rigo et al. 2016). b - Folhas, inflorescências e frutificações de <i>Q. cerris</i> (Borzan 2016). c - Povoamento de <i>Q. cerris</i> no Kosovo.....	5
Figura 2. Distribuição do <i>Q. cerris</i> (Rigo et al. 2016).	6
Figura 3. Potencial ecológico para o <i>Q. cerris</i> em Portugal (Carvalho, 1997).....	7
Figura 4. Volume de madeira de carvalho importada em Portugal, em mil metros cúbicos (UNECE/FAO TIMBER 2015).....	9
Figura 5. a - Representação esquemática das várias partes principais de uma árvore: casca exterior (outer bark), floema (phloem), câmbio (cambium), borne (sapwood), cerne (heartwood) (Little 1997). b - Esquema representativo de uma secção de madeira verificando-se os planos transversal (A), radial (B) e tangencial (C) (Adaptado de Tsoumis, 1991).....	10
Figura 6. Esquema do dispositivo de determinação da dureza, segundo o método Chalais-Meudon. (Carvalho 1996).....	17
Figura 7. Localização das parcelas de amostragem (Blinaja no canto superior direito e Dubočak no canto inferior direito).....	18
Figura 8. Diagramas ombrotérmicos para as duas parcelas de amostragem, com uma série de 62 anos.	19
Figura 9. a - Esquema do corte para a obtenção de tábuas efetuado. b - Amostragem em rodela (b1) e tábuas (b2) do trabalho experimental.	20
Figura 10. Lixadeira manual (BOSH PEX 115 A), utilizada para preparação das amostras	20
Figura 11. Mesa digitalizadora para observação e medição dos anéis de crescimento.	21
Figura 12. Lixa de detalhe fino utilizada PROXXON PS 13.....	23
Figura 13. a - Microscópio e restante sistema utilizado na medição dos vasos. b - Aspetto dos vasos numa amostra após a aplicação de cera.	24
Figura 14. Exemplo de uma das imagens sequenciais efetuadas.	24
Figura 15. Exemplo de uma medição efetuada.....	25
Figura 16. Máquina de ensaios utilizada (b), exemplo de uma das amostras do teste (a) e pormenor da esfera que entrou em contacto com a amostra (c).	26
Figura 17. Imagem de uma amostra após o teste de dureza, onde se verifica a deformação efetuada pela esfera. d1 e d2 apresenta os diâmetros cruzados que foram medidos.	26
Figura 18. Imagem sequencial da madeira de <i>Q. cerris</i> observada na secção transversal, verificando-se a dimensão e distribuição dos vasos num anel completo (RW) e a identificação dos vasos do lenho de início (EW) e final (LW) de estação.	28
Figura 19. Número de vasos, em cada um dos anéis para os dois locais de estudo. (Blinaja a verde e Dubočak a azul), medidos a 1,30m de altura e para 5 árvores de cada local.	29
Figura 20. Distribuição da área média de vasos ao longo dos anéis de crescimento para Dubočak e Blinaja. Medição feita a 1,30 m de altura e para 5 árvores de cada local.	30

Figura 21. Distribuição de vasos por área amostrada (nº de vasos por mm ²). Medição feita a 1,30 m de altura e para 5 árvores de cada local.	30
Figura 22. Proporção de vasos por anel de crescimento. Medição feita a 1,30 m de altura e para 5 árvores de cada local.	31
Figura 23. Exemplo de uma rodela de Q. cerris, mostrando a distinção de coloração entre o cerne e borne.....	33
Figura 24. Espessura total média dos anéis de crescimento para Blinaja e Duboçak.	35
Figura 25. Séries de crescimento para Blinaja (RW- anel de crescimento completo, EW - lenho de início de estação, LW- lenho de fim de estação).	35
Figura 26. Séries de crescimento para Duboçak (RW- anel de crescimento completo, EW - lenho de início de estação, LW- lenho de fim de estação).	35
Figura 27. Cronologias obtidas para os dois locais de estudo.....	36
Figura 28. Curva indexada de Q. cerris na parcela Blinaja e o número de amostras utilizadas para o seu cálculo.....	37
Figura 29. Curva indexada de Q. cerris na parcela Duboçak e o número de amostras utilizadas para o seu cálculo.....	37
Figura 30. Estabilidade da variável precipitação para Blinaja e tendo em conta o crescimento total dos anéis de crescimento (RW).	47
Figura 31. Estabilidade da variável temperatura média para Blinaja e tendo em conta o crescimento total dos anéis de crescimento (RWW).	48
Figura 32. Estabilidade da variável precipitação para Duboçak e tendo em conta o crescimento total dos anéis de crescimento (RW).	49
Figura 33. Estabilidade da variável temperatura média para Duboçak e tendo em conta o crescimento total dos anéis de crescimento (RW).	49
Figura 34. Resultado de análise periódica de crescimento de Q. cerris na parcela Blinaja, com a temperatura como variável primária e precipitação como variável secundária.	51
Figura 35. Resultado de análise periódica de crescimento de Q. cerris na parcela Duboçak, com a temperatura como variável primária e precipitação como variável secundária.	51
Figura 36. Resultado de análise periódica de crescimento de Q. cerris na parcela Blinaja, com a precipitação como variável primária e temperatura como variável secundária.	52
Figura 37. Resultado de análise periódica de crescimento de Q. cerris na parcela Duboçak, com a precipitação como variável primária e temperatura como variável secundária.	53
Figura 38. Distribuição pelas classes 20-30; 30-40; 40-50.	54

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização das parcelas de amostragem.....	18
Tabela 2. Caracterização climática das parcelas de amostragem.	19
Tabela 3. Procedimento do ensaio de dureza.	26

Tabela 4. Análise do diâmetro tangencial (mm) dos vasos de Q. cerris. Médias, desvio padrão, máximo e mínimo de 5 árvores os dois locais de estudo e para os lenhos total (RW), início de estação (EW) e fim de estação (LW).	29
Tabela 5. Coeficientes de correlação entre as variáveis dos vasos, para o local Blinaja. (NV: número de vasos, MVA: área média dos vasos, RW: largura do anel de crescimento, VF: Frequência de vasos por mm ² , VP: proporção de vasos. **: p<0,01 (2-tailed); *: p<0,05 (2-tailed).	31
Tabela 6. Coeficientes de correlação entre as variáveis dos vasos, para o local Duboçak. (NV: número de vasos, MVA: área média dos vasos, RW: largura do anel de crescimento, VF: Frequência de vasos por mm ² , VP: proporção de vasos. **: p<0,01 (2-tailed); *: p<0,05(2-tailed).	32
Tabela 7. Caracterização das amostragens realizadas para os dois locais.	33
Tabela 8. Espessura média, máxima e mínima dos anéis de crescimento (mm), para cada um dos locais e para a largura total do anel (RW); lenho de início de estação (EW) e lenho de fim de estação (LW).	34
Tabela 9. Indicadores estatísticos das cronologias para Duboçak e Blinaja e para o anel completo (EW), lenho de início (EW) e lenho de fim de estação (LW).	37
Tabela 10. Coeficientes de correlação (nível de significância de 95%) entre as variáveis climáticas (Temperatura média, máxima e mínima; precipitação e Radiação solar para a espessura total dos anéis de crescimento (RW).	40
Tabela 11. Coeficientes de correlação (nível de significância de 95%) entre as variáveis climáticas (Temperatura média, máxima e mínima; precipitação e Radiação solar para a espessura do lenho de início de estação (EW).	41
Tabela 12. Coeficientes de correlação (nível de significância de 95%) entre as variáveis climáticas (Temperatura média, máxima e mínima; precipitação e Radiação solar para a espessura do lenho de final de estação (LW).	42
Tabela 13. Coeficientes de correlação entre o cumulativo da precipitação e as temperaturas médias para o crescimento anual da espessura total do anel (RW), lenho de início (EW) e lenho de fim de estação (LW) para os dois locais de estudo (p<0,05).	45
Tabela 14. Coeficientes de correlação entre a precipitação média as temperaturas médias para o crescimento anual da espessura total do anel (RW), lenho de início (EW) e lenho de fim de estação (LW) para os dois locais de estudo, excluindo-se os meses de repouso vegetativo do ano precedente ao crescimento.	46
Tabela 15. Resultados dos ensaios de dureza para as duas parcelas de amostragem.	54
Tabela 16. Relação entre a proporção de vasos e a dureza	55

ÍNDICE DE FÓRMULAS

Fórmula 1. Sensibilidade média	22
Fórmula 2. Sinal efetivo da cronologia	22
Fórmula 3. Sinal expresso da população	23
Fórmula 4. Proporção de ruído	23
Fórmula 5. Dureza de Brinell.	27

1. INTRODUÇÃO

Os carvalhos, espécies do género *Quercus*, possuem uma elevada valorização da sua madeira, sendo considerados como uma fonte de matéria-prima valiosa para a indústria de construção e mobiliário devido às suas características mecânicas e estéticas (Knapic *et al.* 2012).

No entanto, mesmo dentro do mesmo género, cada espécie possui características próprias que as fazem ter maior ou menor aptidão para determinadas utilizações tecnológicas. Por outro lado, as condições ambientais e a zona envolvente ao crescimento das árvores, bem como as suas características genéticas influenciam a potencial utilização tecnológica. Estudos da madeira destas espécies são determinantes para a avaliação de possíveis utilizações nas indústrias da construção e mobiliário.

1.1. CARACTERÍSTICAS DO *QUERCUS CERRIS*

1.1.1. CLASSIFICAÇÃO TAXONÓMICA E DESCRIÇÃO BOTÂNICA

O *Quercus cerris* L, conhecido pelo nome comum de carvalho-da-Turquia é uma árvore pertencente à família *Fagaceae* e ao género *Quercus*. Este género possui cerca de 531 espécies classificadas, distribuídas pela América, Ásia, Malásia, Europa e norte de África (Uslu *et al.* 2011) e é um dos géneros mais importantes na ocupação florestal no centro e oeste da Europa, devido à diversidade de espécies, dominância ecológica e valor económico (Stafasani and Toromani 2015).

O *Q. cerris* (figura 1) é uma árvore de porte médio, podendo atingir 40 m de altura e um diâmetro do tronco de 1,5 a 2 m (Rigo *et al.* 2016). As folhas possuem dimensões de 6 a 15 por 2,5 a 5 cm e são tardiamente caducas, membranáceas, oblongas ou oblongo-ovadas, com lóbulos agudos, cinzento-tomentosas quando jovens, depois verde-escuras e glabras na página inferior, embora tomentosas pelo menos nas axilas e nervuras da página inferior, com escamas apicais lineares, patentes e sinuosas nas extremidades. A floração ocorre de abril a maio e a maturação dos frutos no Outono do segundo ano. (Humphries *et al.* 2005).



Figura 1. a - Árvore da espécie *Q. cerris* numa zona agrícola na Sul de Itália (Rigo *et al.* 2016). b - Folhas, inflorescências e frutificações de *Q. cerris* (Borzan 2016). c - Povoamento de *Q. cerris* no Kosovo.

1.1.2.DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS

O *Q. cerris*, sendo nativo da zona dos Balcãs e Turquia (Todaro 2012), tem uma distribuição geográfica que se estende da zona centro-sul da Europa à Ásia central, com maior incidência nas zonas de onde é nativo. Nos Balcãs, assume diferente relevância segundo o país; por exemplo, o *Q. cerris* é uma das 12 espécies de carvalhos nativas da Albânia, enquanto que na Hungria corresponde a 11% da área florestal. Na Bulgária, ocupa áreas secas com habitats moderadamente ricos, tanto em zonas de planície como em zonas de montanha, formando florestas em conjunto com outras espécies de carvalho (*Q. frainetto*, *Q. pubescens*) e povoamentos mistos de folhosas com espécies como *Acer campestre*, *Ulmus minor*, *Carpinus orientalis* e *Fraxinus ornus* (Rigo *et al.* 2016). Na Eslovénia o *Q. cerris* possui grande distribuição, maioritariamente na zona junto ao mar Adriático nas regiões de Kras, Brkini e Tolminsko, sendo comum em áreas quentes, secas e declivosas (Lavisci and Scalbert 1991, Romagnoli and Codipietro 1996, Rigo *et al.* 2016).

Em Itália, cresce desde o nível do mar até à cordilheira dos Apeninos, no centro do país, cobrindo cerca de 280 000 ha, e sendo frequentemente encontrado em conjuntos com espécies como *Quercus frainetto* (Rigo *et al.* 2016). Fora da sua zona de maior incidência, o *Q. cerris* tem sido introduzido em outros países da Europa, nos quais se inclui o Reino Unido, França e Ucrânia. Fora da Europa é também plantado no norte da América, Argentina e Nova Zelândia (Rigo *et al.* 2016).

A figura 2 apresenta a distribuição simplificada do *Q. cerris*, representando-se a verde a zona onde é nativa e a bege a área onde esta espécie foi introduzida. É também possível observar a frequência de ocorrência desta espécie, resultante de observações feitas em campo através dos Inventários Florestais Nacionais (representado pelos pontos a azul) (Rigo *et al.* 2016).

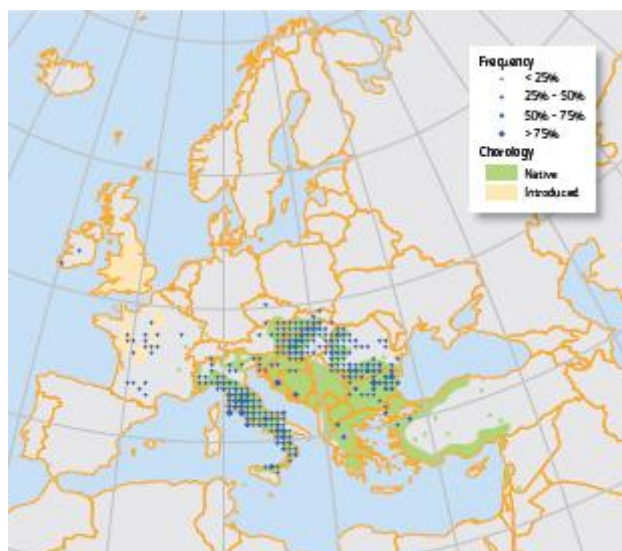


Figura 2. Distribuição do *Q. cerris* (Rigo *et al.* 2016).

Em Portugal não existem povoamentos desta espécie, encontrando-se alguns exemplares plantados esporadicamente como ornamentais. Em particular podem ser encontrados alguns exemplares no parque da Pena em Sintra, Tapada da Ajuda em Lisboa e no Jardim Botânico da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro em Vila Real (Sen 2012). Carvalho (1997) apresenta

uma carta ecológica desta espécie para Portugal, onde se verifica a potencialidade ecológica para plantações nas zonas sul e sudeste do país (figura 3).



Figura 3. Potencial ecológico para o *Q. cerris* em Portugal (Carvalho, 1997).

O *Q. cerris* é uma espécie de luz, preferindo solos siliciosos, frescos, profundos e húmidos (não suporta solos com predominância do calcário). Ainda assim, considera-se que é uma espécie que possui boa adaptabilidade a diferentes condições, sendo mais tolerante à seca do que outras espécies da mesma região (Fischesser 2005, Rigo *et al.* 2016). Quando se encontra numa fase mais estável, desenvolve uma raiz principal e raízes laterais profundas. Possui características de espécie pioneira com boas taxas de germinação das sementes, crescimento juvenil rápido e elevada capacidade reprodutiva (Rigo *et al.* 2016).

Por apresentar uma madeira com tendência para o desenvolvimento de fendas (Rigo *et al.* 2016) esta espécie tem sido maioritariamente utilizada como combustível para queima (lenha), possuindo um poder calorífico idêntico ao de outras espécies como, por exemplo a faia.

Ainda assim, estudos apontam para a utilização desta madeira para travessas de caminhos-de-ferro, nomeadamente a proveniente da zona este da sua distribuição (Balcãs) (Rigo *et al.* 2016).

Apesar de, pelas características que se descreveram, o *Q. cerris* parecer ter um conjunto limitado de aplicações, existem vantagens na sua utilização para a conservação do solo, controlo de erosão e ocupação de áreas descobertas de vegetação, por possuir grande capacidade de adaptação a diferentes tipos de solo e um crescimento relativamente rápido, sendo muitas vezes plantada em áreas urbanas. As bolotas e os ramos jovens são uma fonte importante de alimento para animais selvagens nos sistemas agro-silvo-pastoris mediterrâneos.

Adicionalmente, o *Q. cerris* possui propriedades curativas para tratamentos da medicina mediterrânea tradicional, nos quais se incluem tratamentos anti-inflamatórios e potencialmente anti bacterianos, particularmente contra *Staphylococcus aureus* (Rigo *et al.* 2016), responsável, por exemplo, por várias doenças de pele e do foro respiratório.

1.1.3. UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE CARVALHO (*QUERCUS* SPP.) EM PORTUGAL

Uma vez que não existe histórico de utilização do *Q. cerris* no território português e sendo também uma espécie exótica, apresenta-se a relevância e o emprego de espécies do mesmo género (*Quercus*) nativas.

O *Q. faginea* (carvalho-português), utilizado tradicionalmente para lenha, carvão, utilização da casca, bolota e para silvo-pastorícia (Sousa 2013), teve uma grande relevância na história portuguesa quando a sua madeira foi utilizada para a construção de caravelas, naus e galés (Knapic 2007). Apesar da sua relevância histórica, tem vindo a verificar-se uma diminuição da ocupação florestal, fazendo com que as florestas de carvalho-português, extremamente ricas em biodiversidade, sejam locais apenas com interesse do ponto de vista paisagístico (Silva 2007). No entanto, um estudo recente mostrou a aptidão desta madeira para uso como revestimento interior (Knapic 2007).

O *Q. robur* (carvalho-roble) foi utilizado no passado na construção de edifícios medievais e construção naval, sendo ainda utilizado para a reparação de embarcações antigas e de recreio (Silva 2007). Esta madeira é ainda muito utilizada em pavimentos, carpintaria, marcenaria, folheado e tanoaria, destacando-se em particular a produção de barris. Neste uso tem um perfil particularmente adequado para a utilização na conservação e envelhecimento de vinhos de elevada qualidade devido à sua impermeabilidade, conteúdo de polifenóis e presença de substâncias aromáticas. Adicionalmente, a porosidade desta madeira favorece a evolução dos constituintes do vinho, fazendo do carvalho-roble uma das primeiras escolhas como matéria-prima da tanoaria em Portugal (Carvalho *et al.* 2007).

O *Q. pyrenaica* (carvalho-negral) com importância em Portugal tem uma área de distribuição maioritariamente entre os 700 e 1200 metros de altitude (Carvalho *et al.* 2007a). A madeira desta espécie é considerada de boa qualidade em termos de características físicas, mecânicas e tecnológicas, sendo utilizada como matéria-prima industrial em mobiliário, pavimentos, carpintaria, decoração interior e exterior, para além do uso para produção de lenha para combustível e obtenção de carvão vegetal (Carvalho *et al.* 2007b).

O *Q. suber* (sobreiro), cuja madeira foi utilizada no passado para a construção de barcos, devido à sua resistência mecânica elevada e durabilidade natural (Leal *et al.* 2007), tem na atualidade a função principal de fornecer matéria-prima para a indústria corticeira, sendo a utilização de madeira quase residual. Uma das razões prende-se com o facto de a nível legal as intervenções em povoamentos de sobreiro serem restritas de acordo com o DL 169/2001 de 25 de maio (DR. Nº121 Série I-A, alterado pelo DL 155/2004, de 30 de junho, DR nº152 série I-A). Alguns estudos, elaborados nos últimos anos, demonstraram o potencial para a utilização desta madeira extraída em operações de desbastes que vai para além da habitual queima (Knapic *et al.* 2011, Knapic *et al.* 2012, Knapic 2013).

Dados disponíveis na base de dados da UNECE/FAO TIMBER de 2002 a 2013 (figura 4), mostram que apesar da importação de madeira de carvalho ter diminuído cerca de 7% entre 2002 e 2009, o volume de importação estabilizou, mantendo-se constante de 2009 a 2013 com valores próximos dos 41 000 m³.

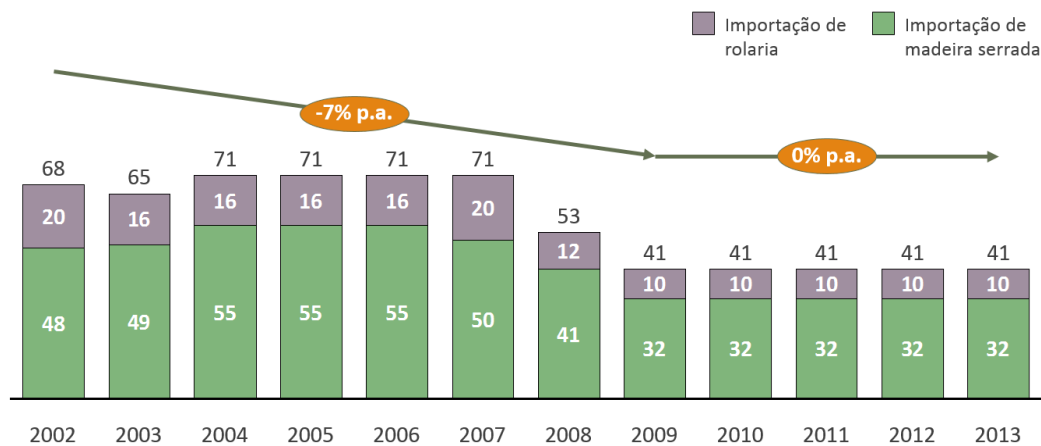


Figura 4. Volume de madeira de carvalho importada em Portugal, em mil metros cúbicos (UNECE/FAO TIMBER 2015).

A necessidade de importação de madeira de carvalho, deve-se essencialmente à falta de povoamentos de exploração florestal desta espécie, tendo-se verificado uma diminuição da área ocupada por esta espécie. De facto, tendo em conta os dados dos últimos Inventários Florestais Nacionais realizados, a área de ocupação total de carvalho diminuiu de 91 897 ha em 1995 para 67 116 ha em 2010 (ICNF 2013).

Pode-se então considerar existir um potencial de utilização de madeira de carvalho, onde se poderá inserir o *Q. cerris* devido à elevada importância que representa para a região mediterrânea (Lavischi & Scalbert 1991) e sendo uma das espécies com maior distribuição no sudeste da Europa e no sudeste asiático (Todaro 2012).

1.2. OBJETIVOS & ESTRUTURA DA TESE

Com este trabalho pretendeu-se fazer uma caracterização da madeira de *Q. cerris* para determinar o seu uso como madeira maciça. O estudo incidiu em três vertentes: análise anatômica, análise dendrocronológica e avaliação de dureza.

A presente dissertação encontra-se estruturada em quatro capítulos. O capítulo 1 contempla a introdução ao trabalho elaborado e uma revisão bibliográfica da espécie. No capítulo 2 faz-se uma revisão bibliográfica dos conceitos e temas abordados ao longo do trabalho apresentado. No capítulo 3, para além da caracterização da área de proveniência do material utilizado, apresentam-se os materiais e as metodologias de análise utilizadas. Os resultados do trabalho experimental são apresentados no capítulo 4 onde adicionalmente se faz a sua discussão. Por fim apresentam-se algumas conclusões e considerações finais ao trabalho efetuado no capítulo 5.

2. FORMAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA

A madeira tem sido utilizada como matéria-prima de construção há vários séculos (Tsoumis 1991) com utilizações muito variadas que vão desde a construção de casas à construção de pontes. A sua estrutura resulta da atividade do meristema lateral ou câmbio vascular, responsável pelo transporte de seivas, suporte e armazenamento (Fahn 1990, Carvalho 1996).

A figura 5a apresenta um esquema das várias partes principais de uma árvore muitas vezes visíveis numa primeira análise apenas de caracterização visual, sem recurso a instrumentos ou técnicas laboratoriais para a sua distinção. Na imagem é possível verificar a distinção entre:

- **Casca** - parte exterior com a função principal de proteção;
- **Floema** – responsável pelo transporte da água e nutrientes das folhas às restantes partes da árvore;
- **Câmbio** - tecido (por vezes apenas distinguível ao microscópio) com capacidade de divisão celular e responsável pelo crescimento da árvore em diâmetro, na medida em que produz lenho para o interior e casca para o exterior (Tsoumis 1991, Carvalho 2007);
- **Borne e Cerne** - a distinção depende da coloração e idade do lenho da árvore. O borne, localizado junto do câmbio, é uma parte fisiologicamente ativa e tem como funções o armazenamento de alimento e a condução de seivas (Tsoumis 1991). O borne varia em espessura e é normalmente mais claro e com menor durabilidade que o cerne (Tsoumis 1991, Little 1997). Por oposição, o cerne é mais escuro na maioria das espécies e encontra-se fisiologicamente inativo (Little 1997).

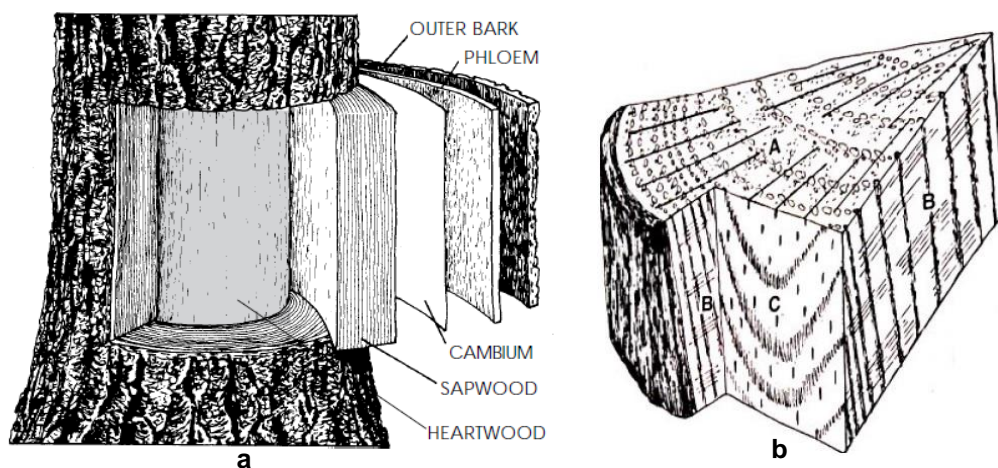


Figura 5. a - Representação esquemática das várias partes principais de uma árvore: casca exterior (*outer bark*), floema (*phloem*), câmbio (*cambium*), borne (*sapwood*), cerne (*heartwood*) (Little 1997). b - Esquema representativo de uma secção de madeira verificando-se os planos transversal (A), radial (B) e tangencial (C) (Adaptado de Tsoumis, 1991).

Uma vez que a madeira é um material de origem biológica, possui variabilidade entre espécies, entre indivíduos da mesma espécie e dentro da mesma árvore. A variabilidade da madeira deve-se a vários fatores que vão desde os processos fisiológicos e de diferenciação celular da madeira, a fatores genéticos (Fahn 1990, Sousa 2013). Assim, o estudo da variabilidade dentro de

uma espécie permite extrapolar sobre a variabilidade numa árvore, entre árvores e entre locais (Sousa 2013), sendo a heterogeneidade da madeira a característica que permite a existência de diferentes aptidões e aplicações. Por essa razão, é extremamente importante o conhecimento das características de determinada madeira, sendo assim possível prever o resultado de intervenções silvícolas a realizar e adaptar toda a dinâmica da gestão e produção florestal para determinados fins. A madeira é anisotrópica, o que implica ter características distintas nos diferentes planos – tangencial, transversal e radial (figura 5b).

A análise visual dos grandes aspetos estruturais possibilita, por vezes, a observação e determinação de características que permitem a predição de comportamentos tecnológicos e desempenhos funcionais (Carvalho, 1997). Os aspetos estruturais visíveis habitualmente são:

- Cor;
- Distinção entre cerne e borne;
- Grão, em função do tamanho dos elementos ou componentes da estrutura lenhosa;
- Textura, percentagem de lenho final no contexto de diferenciação anual considerando a intensidade do ritmo de transição, estando associada à heterogeneidade do material em termos de comportamentos mecânicos e tecnológicos;
- Fio, arranjo longitudinal dos elementos fibrosos, exprimindo o alinhamento em relação ao eixo do tronco.

Em relação a estes aspetos, o *Q. cerris* apresenta, segundo a identificação feita por Carvalho (1997), uma madeira com cerne de cor castanha-acinzentada e pouco distinto do borne que é branco-acinzentado, de contorno pouco definido e regular. As camadas de crescimento são perfeitamente distintas, com uma zona porosa inicial marcada, e um grão grosseiro que se deve à porosidade heterogénea e ao grande número e dimensões dos raios. A textura do *Q. cerris* é acentuadamente desigual e forte e a sua madeira possui um fio direito e o veio caracteristicamente espelhado no plano radial e pouco desenhado no tangencial pelas camadas de crescimento.

2.1. ANATOMIA

De uma forma global as espécies podem ser divididas em dois grandes grupos, as folhosas e as resinosas. Cada um destes grupos possui um arranjo anatómico característico, o que também tem influência nas características que são apontadas à madeira de cada um dos grupos (Tsoumis 1991, Carvalho 1996).

As resinosas possuem um lenho com estrutura homoxilada, constituída quase por um tipo de elementos que são duplamente encarregues das funções de suporte e transporte – traqueídeos verticais. O lenho das folhosas é de estrutura heteroxilada, predominando dois tipos fundamentais de elementos histológicos: **os vasos**, responsáveis pela circulação dos líquidos seivosos e **as fibras** com o papel de transporte (Carvalho 1996), apenas presentes em folhosas (Tsoumis 1991).

Existem ainda outros componentes importantes que fazem parte da constituição da madeira: os raios e o parênquima.

Pertencendo ao grupo das folhosas, o *Q. cerris* possui uma estrutura heteroxilada com vasos na sua maioria solitários: inicialmente com forma elítica acentuada e com eixo radial maior, com dimensões de 250 a 300 μ por 150 a 210 μ e constituindo uma banda de 3 a 4 elementos, os vasos diminuem depois gradualmente de tamanho, mantendo a mesma forma, mas dispondo-se em cadeias unisseriadas (Carvalho, 1997).

O parênquima é metatraquial em fiadas tangenciais descontínuas e agregadas, difuso e muito abundante. Os raios são de dois tipos: largos, tal como se verifica nos carvalhos em geral, com múltiplas células de altura (frequentemente ultrapassando 5000 μ) e de largura (1000 a 1500 μ), com fibras intercalares características; e estreitos, unisseriados ou com 2 a 3 células, em 1 a 2 fiadas do corpo, e 3 a 30 células de altura (150 a 300 μ). As fibras são liberiformes (Carvalho 1997).

2.2. ANÉIS DE CRESCIMENTO

A maioria das espécies arbóreas, quando presentes em climas temperados, apresentam diferenças de crescimento consoante a estação climática, podendo identificar-se diferentes camadas de crescimento (Freas 1991). Essas camadas de crescimento podem ser mais evidentes dependendo da maior heterogeneidade estrutural do lenho ao longo de um ciclo de crescimento, bem como da maior diferenciação climática entre estações no local de crescimento (Carvalho 1996). Assim, as camadas de crescimento referidas são anéis circulares concêntricos visíveis ao longo do lenho, sendo cada anel constituído por dois tipos de lenho. O lenho de início de estação forma-se durante o crescimento da árvore no período vegetativo (em que a árvore se encontra em maior atividade vegetativa). O lenho de fim de estação vai-se formando com a aproximação da estação do repouso vegetativo (em que as árvores entram em período de dormência, ou quando ocorre uma grande diminuição da atividade vegetativa) (Tsoumis 1991).

A nível celular, o lenho de início de estação apresenta células com um lúmen relativamente grande e paredes celulares de fina espessura (Freas 1991) e quando vistas na secção transversal apresentam uma forma poligonal (Tsoumis 1991). Por sua vez, o lenho de fim de estação apresenta lumens mais pequenos e paredes mais espessas (Freas 1991). Estas características fazem com que o lenho de fim de estação apresente uma coloração mais escura no seu conjunto que o lenho de início de estação. Como o lenho de fim de estação possui maior densidade, a sua proporção no anel pode ser utilizada como um indicador da qualidade e dureza da madeira (Freas 1991).

A contagem dos anéis de crescimento permite saber com alguma exatidão a idade da árvore (Fritts 1976).

2.3. DENDROCRONOLOGIA

A dendrocronologia, cujo vocábulo deriva da língua grega e resulta da junção de *dendron* (árvore), *kronos* (tempo) e *logos* (conhecimento), é uma ciência que analisa e interpreta o crescimento anual dos anéis das árvores, sendo um dos métodos científicos mais utilizados em datações aplicadas a madeira e carvões bem como estudos paleoclimáticos (Gonçalves 2007, Lauw 2011).

Como as espécies vegetais, e em particular as arbóreas, são sensíveis a fatores do meio ambiente, todas as alterações de temperatura, humidade, e radiação solar ficam registados nos anéis de crescimento. Assim, é possível utilizar a caracterização destes anéis para diferentes análises dendrocronológicas que podem ser efetuadas, permitindo, por exemplo, descobrir o registo ambiental presente (Gonçalves 2007).

A primeira utilização da dendrocronologia é atribuída a Andrew E. Douglas, que, em 1901, numa viagem pela floresta do norte do Arizona, enquanto pesquisava sobre a relação das manchas solares e o clima da terra, se apercebeu das diferenças de dimensões entre os troncos das árvores. Suspeitando que o crescimento das árvores seria afetado pela disponibilidade de água, analisou várias amostras e apercebeu-se da semelhança entre determinados anéis (particularmente estreitos), tendo conseguido ligar a data de origem destes anéis por comparação com uma árvore mais antiga naquele local (Fritts 1976).

Apenas em 1911, Douglas reconheceu qual o verdadeiro significado das suas observações, e, tendo construído uma cronologia de quase 500 anos a partir de anéis de *Pinus ponderosa*, demonstrou que a largura dos anéis disponíveis se encontra diretamente relacionada com a precipitação do inverno anterior (Fritts 1976).

A dendrocronologia tem dado uma contribuição para o campo da climatologia, sendo cada vez mais reconhecida pelos climatologistas. Hughes (2002) considera que a utilização de anéis de crescimento como arquivos naturais de variabilidade climática possui um conjunto de vantagens, das quais se listam:

- Possibilidade de relacionar, com um elevado grau de confiança, anéis de crescimento com os anos do calendário;
- A existência de uma padronização conhecida de variações do crescimento conhecida ao longo dos anos e a uma grande escala geográfica;
- Desenvolvimento de uma extensiva rede de informação partilhada de cronologias com padrões comuns;
- A relação linear na modelação entre anéis de crescimento e fatores climáticos;
- O conhecimento dos mecanismos de crescimento que levam à variação dos anéis de crescimento.

O mesmo autor evidencia também alguns pontos fracos, dos quais se destaca o facto das cronologias, tal como outros arquivos naturais, abrangerem apenas uma fração da variação climática, podendo não ser encontrado o registo das variáveis climáticas de maior interesse para os climatologistas.

Uma vez que o crescimento das árvores está relacionado com recursos naturais como as capacidades do solo, temperatura, humidade, declives, altitude, orientações (entre outros), a dendrocronologia baseia-se em princípios fundamentais que determinam quais os procedimentos e metodologia a seguir. Descrevem-se alguns desses princípios fundamentais (Fritts 1976, Gonçalves 2007):

- **Princípio do crossdating (datação cruzada)**, princípio fundamental da dendrocronologia, que se baseia no facto de atribuir datas de calendário a cada um dos anéis de crescimento

das árvores. Através deste princípio, considera-se que confrontando padrões de espessura de anéis, densidade e outros fatores presentes na estrutura ou anatomia da madeira, pode ser estabelecida uma correlação entre várias amostras. Para tal, é necessária a elaboração e preparação de um número elevado de amostras, criando sequências, medições e observações bastante cuidadosas, as quais irão permitir atribuir uma sequência cronológica que vai desde o ano em que a amostra da árvore viva foi retirada (ano conhecido) até à data do anel mais antigo;

- **Princípio da uniformidade**, segundo o qual os fatores ou processos físicos e biológicos que afetam o crescimento dos anéis das árvores na atualidade (ou seja, as alterações no meio ambiente atual) foram também registados no passado pelas espécies arbóreas;
- **Princípio dos fatores limitantes**, que destaca a existência de fatores que limitam o crescimento das árvores, ou seja, o crescimento dos anéis é limitado pela variável ambiental mais limitante. Estes fatores podem ser a temperatura, humidade e precipitação: em locais áridos e semi-áridos a precipitação é um fator limitativo do crescimento dos anéis das árvores, enquanto em altitudes elevadas, o fator limitante é a temperatura. Este princípio considera a existência de outros fatores não climáticos, tais como fatores antrópicos e de biodiversidade. Este princípio caracteriza-se ainda pela criação de um padrão de escolha quando se efetua um estudo, determinando qual o grau de sensibilidade que se procura atingir;
- **Princípio do crescimento agregado da árvore**, que afirma que qualquer série da árvore pode decompor-se num somatório de fatores ambientais, humanos ou naturais que afetam o crescimento dos anéis e a variação que se encontra em qualquer série individual de anéis;
- **Princípio da amplitude ecológica**, segundo o qual existe uma gama de habitats em que uma espécie consegue crescer e reproduzir-se, gama essa que determina a sua sensibilidade a fatores ambientais. Por exemplo, árvores que cresçam em habitats restritos têm uma amplitude reduzida;
- **Princípio da seleção do local**, que indica que a escolha de espécies e exemplares a serem utilizados num estudo dendrocronológico deverá ser feita tomando em consideração os critérios que determinam a sensibilidade da espécie a fatores de alteração climática (temperatura e precipitação). Assim, devem selecionar-se locais com base em critérios que irão produzir séries de anéis de crescimento sensíveis à variável ambiental em estudo. Por exemplo, árvores que se manifestam sensíveis a condições de seca podem ser encontradas onde a precipitação é um fator limitante. Por outro lado, a procura de espécies sensíveis à precipitação não deve ser feita em locais de baixa altitude, onde a escassez de água não é notória. Se o objetivo for um estudo direcionado para condições de seca no passado, o habitat natural a ser procurado deverá ser aquele que forneça às espécies vegetais pouca possibilidade de adquirir água do solo;
- **Princípio da replicação**, que consiste na recolha de um número elevado de amostras por árvore num número elevado de árvores por local. Assim, garante-se a redução, após

estudo, do nível de ruído ambiental, ou seja, são eliminados fatores de ruído que derivam da contaminação ambiental, fatores esses que originam alterações anatômicas que poderiam mascarar, de alguma forma, os sinais que se pretendem analisar.

O *Q. cerris* é das espécies do género *Quercus* (dentro da categoria das espécies de folhas caducas) que menos investigação possui do ponto de vista da dendrocronologia (Stafasani and Toromani 2015), existindo, ainda assim, alguns estudos em países nos quais o *Q. cerris* é nativo: na Albânia, foi feita investigação focada no estudo dendrocronológico ligado a características da silvicultura (Stafasani and Toromani 2015); na Sérvia, as respostas climáticas foram estudadas por Stojanovic *et al* 2014 (Stafasani and Toromani 2015); na Eslováquia, as respostas climáticas do *Q. cerris* foram estudadas por Stafasani and Toromani (2015).

Os estudos supracitados e outros, apontam para a existência de sensibilidade do *Q. cerris* face às características climáticas envolventes. Por exemplo, os resultados de Di Filippo *et al.* (2010) apontam evidências de que o crescimento e a produtividade dos povoamentos de *Q. cerris* são influenciados pelo balanço hidrológico, em particular a precipitação tardia da primavera/ início do Verão, bem como a precipitação do outono anterior.

2.4. PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

A madeira tem propriedades mecânicas diferentes nas várias direções, resultado da sua anisotropia. Assim, as propriedades mecânicas da madeira incluem a sua resistência a vários tipos de tensões, destacando-se três tipos básicos como tração, compressão e corte, sendo habitualmente medidas a compressão axial, a tração transversal e a flexão estática.

Carvalho (1997) estimou que o *Q. cerris* possui uma compressão axial considerada média com 560 kg.cm⁻² (tensão de rotura) e uma tração transversal média com 35 kg.cm⁻² (tensão de rotura). Quanto à flexão, Carvalho (1997) estimou valores na ordem dos 1200 kg.cm⁻² para a flexão estática média, quando se considera a tensão de rotura, e um comportamento elástico (índice de 23), quando se considera a sua rigidez.

Estas propriedades são avaliadas por testes que se encontram normalizados e possuem procedimentos específicos. Assim, nestes testes é possível determinar as forças máximas a que a madeira pode ser sujeita, estabelecendo limites de segurança na utilização da madeira para a elaboração de estruturas. Pode verificar-se, desta forma, que as propriedades mecânicas são muito importantes para a utilização de madeira como componente estrutural.

Densidade ou massa volúmica

A densidade (ou massa volúmica) é o melhor e mais simples indicador da resistência da madeira (sem defeitos), uma vez que existe uma relação direta entre a densidade e a resistência (Tsoumis 1991, Carvalho 1996).

Sabendo que a densidade nos dá a indicação da proporção de madeira presente num determinado volume, e que valores mais altos de densidade indicam uma porção de células com

paredes espessas e lumens mais pequenas, compreende-se que o aumento da densidade implica um aumento da resistência (Tsoumis 1991).

O *Q. cerris* apresenta um valor de densidade padrão de 870 kg.m⁻³ (com 12% de humidade) sendo classificada por Carvalho (2007) como madeira pesada.

Retração

A retração é um indicador do comportamento da madeira quanto à predisposição a empenos e fendas e quanto às alterações de volume e forma (Carvalho 1996). A retração, uma vez que a madeira tem comportamento anisotrópico, pode ser classificada como retração volumétrica total (%), tangencial total (%) e radial total (%). Adicionalmente, pode ainda medir-se um coeficiente de retração, que é um indicador de variação tridimensional da madeira face ao teor de humidade (para uma variação considerada elevada, a madeira é designada por nervosa) (Carvalho 1997).

Para estas propriedades, considera-se que o *Q. cerris* possui uma madeira muito retráctil. Apresentando um valor de 19,2% quanto à retração volumétrica total, uma retração tangencial total de 13% (forte) e uma retração radial total de 5,3 (média). Considera-se ainda que o *Q. cerris* é uma madeira muito nervosa uma vez que apresenta um coeficiente de retração de 0,53 (Carvalho 1997).

Dureza

A dureza mede a resistência da madeira à penetração de corpos estranhos na sua massa, sendo uma das características físico mecânicas de maior importância (Tsoumis 1991, Carvalho 1996).

O comportamento anisotrópico da madeira justifica os valores diferentes de dureza segundo as várias direções em que é medida, sendo mais elevada (cerca do dobro) na direção axial do que nas restantes direções, e com diferença pouco relevante entre as superfícies tangencial e radial (Tsoumis 1991).

A dureza encontra-se relacionada com a resistência da madeira à abrasão, constituindo também uma medida do comportamento ao desgaste. Existe uma relação direta entre a dureza e a dificuldade de laboração da madeira, sendo as madeiras mais duras as que requerem mais trabalho (potência e consumo de energia) quando se consideram operações de transformação tais como o aplainamento e molduragem, a colocação de pregos ou abertura de furos (Carvalho 1996).

Paralelamente, existe também uma correlação muito acentuada entre a dureza e densidade, sendo as madeiras mais duras as que apresentam maiores valores de densidade (Carvalho 1996). A dureza é, portanto, uma das propriedades da madeira de maior importância quando se pretende a utilização da madeira para vários fins em que a mesma tenha de ser trabalhada (mobiliário, artigos desportivos, lápis) (Tsoumis 1991). Em particular, destaca-se a utilização da madeira para soalhos, onde a dureza tem um papel crucial: a aplicação de uma madeira dura evitará uma rápida deterioração quando o soalho é exposto continuamente a objetos que aplicam uma pressão elevada no solo, tais como os saltos altos (Knapic *et al.* 2012).

A dureza pode ser medida por vários métodos que incluem os métodos Chalais-Meudon e Janka (Carvalho, 1996), cuja utilização é essencial para garantir a comparabilidade e replicabilidade dos resultados entre testes.

O método Chalais-Meudon consiste na utilização de um provete de madeira com 2x2 cm de secção e 3 cm de comprimento, no qual se provoca uma impressão com um cilindro de aço de 15 mm de raio, sendo expressa a flecha de penetração ou profundidade da massa sob uma carga de 100 kgf cm^{-1} de largura do provete, numa instalação semelhante aquela que se apresenta na figura 6.

Os resultados deste método podem ser determinados através da medição da dimensão da impressão ou massa perpendicular na superfície do provete.

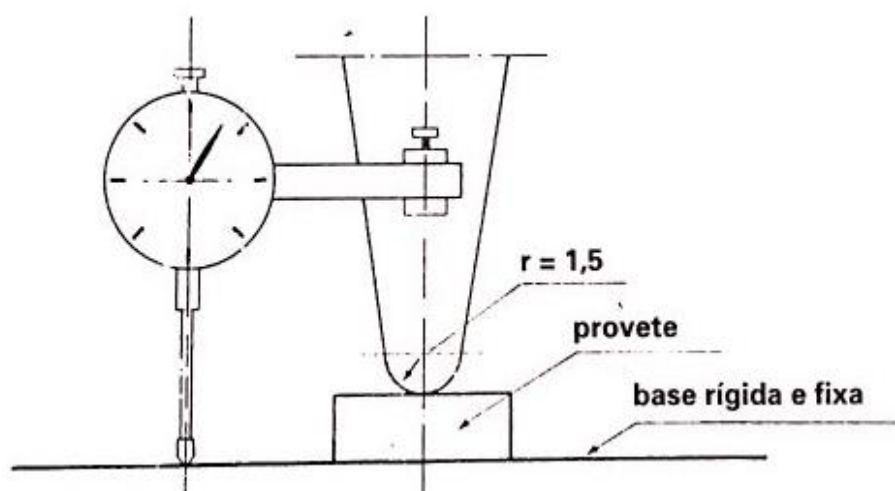


Figura 6. Esquema do dispositivo de determinação da dureza, segundo o método Chalais-Meudon. (Carvalho 1996).

O método de Janka determina a dureza através da medição da resistência à penetração estática de uma esfera de 1cm^2 de secção equatorial, sendo a resistência expressa em kgf (Carvalho 1996).

A dureza de Brinell é definida como o rácio entre a força aplicada pela área superficial de contacto (Ramos, 2009). Esta dureza é determinada através da utilização de esferas que perfuram a madeira, medindo-se posteriormente a massa residual (tendo sido o método utilizado, a sua descrição encontra-se mais detalhada no capítulo 3.4 – Ensaio de dureza).

A qualificação das madeiras em função das propriedades físicas como a dureza é feita de acordo com critérios comparativos, que resultam do conhecimento experimental conseguido por utilizadores e técnicos. Por exemplo, sabe-se que existem madeiras consideradas brandas como o choupo, salgueiro, balsa e pinheiro; madeiras com dureza média como abeto e ainda madeiras duras como o teixo, carvalho, freixo, faia, bétula e oliveira (Tsoumis 1991).

O *Q. cerris* possui uma dureza de Chalais-Meudon classificada como medianamente dura (4,8 kgf) e uma dureza de Janka que considera a sua madeira como muito dura (800 kgf) (Carvalho 1997).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas árvores da espécie *Q. cerris* provenientes do Kosovo -Blinaja e Duboçak (figura 7). A caracterização climática das duas regiões foi elaborada com dados provenientes da base de dados de Clipick – *Climate Change Web Pointer* (<http://home.isa.utl.pt/~joaopalma/projects/agforward/clipick/>). Utilizaram-se as coordenadas correspondentes ao centro de cada uma das parcelas - 42.5102N e 20.9872E (Blinaja) e 42.8556N e 20.7318E (Duboçak), como referência para a extração dos dados climáticos.

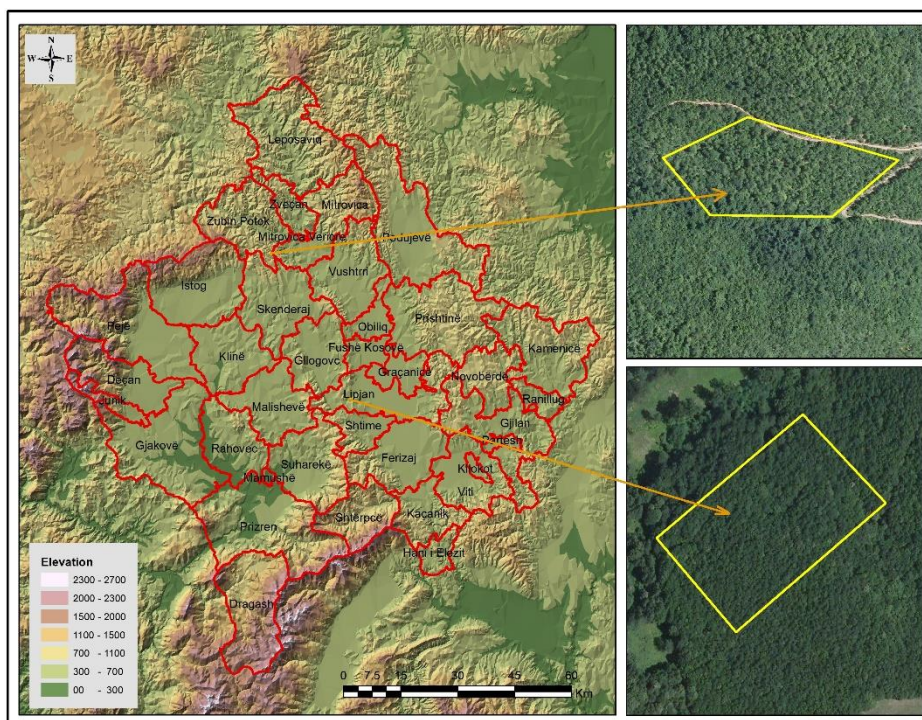


Figura 7. Localização das parcelas de amostragem (Blinaja no canto superior direito e Duboçak no canto inferior direito).

Na tabela 1, apresentam-se algumas das características das parcelas de estudo, nomeadamente a área em hectares, orientação e altitude.

Tabela 1. Caracterização das parcelas de amostragem.

Parcela	Área (hectares)	Orientação	Altitude (metros)
Blinaja	2	Noroeste	650-710
Duboçak	2	Sul/sudeste	830-900

O clima das duas parcelas de estudo é classificado como Temperado Continental (Linder *et al.* 2010), caracterizado por possuir verões quentes, invernos frios e pouca precipitação (MOTIVE s/d). A diferença da temperatura média entre o mês mais quente e o mais frio é superior a 21°C, enquanto que o valor médio da temperatura anual varia entre 6 a 12 °C.

Com base nos dados recolhidos, correspondentes aos valores anuais de 1951 a 2013, determinou-se a temperatura média anual e o valor da precipitação média anual para cada uma das parcelas (Tabela 2).

Tabela 2.Caracterização climática das parcelas de amostragem.

	Blinaja	Duboçak
Temperatura média anual, °C	11,1	10,5
Temperatura mínima média anual, °C	4,7	4,3
Temperatura máxima média anual, °C	17,5	16,9
Precipitação média anual, mm	43	40,6

A figura 8 apresenta a variação da temperatura ao longo dos meses para Blinaja e Duboçak. O mês com registo de temperatura média superior foi o mês de agosto para as duas parcelas, com valores de 24,9°C para Blinaja e 24,8°C para Duboçak. O mês com menor temperatura média foi janeiro com valores de -0,6°C para Blinaja e -0,3°C para Duboçak. Em relação à precipitação, maio foi o mês mais chuvoso (69,9 mm para Blinaja e 61,7mm para Duboçak) e em agosto verificou-se menor precipitação (21,4mm para Blinaja e 17,4mm para Duboçak). Para Blinaja, o valor da precipitação total anual é de 515 mm e de 487 mm para Duboçak (calculado pela média do somatório da precipitação anual para o intervalo cronológico de 1951 a 2013).

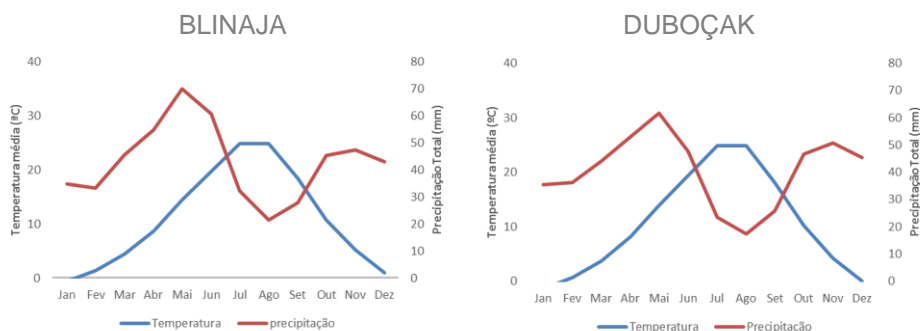


Figura 8.Diagramas ombrotérmicos para as duas parcelas de amostragem, com uma série de 62 anos.

Os abates foram realizados em outubro de 2014, tendo sido selecionadas 5 árvores em cada local. Em cada árvore foram cortadas rodela e toros (figura 9). As rodela foram cortadas ao nível da base, dap (diâmetro à altura do peito – 1,30 metros), e depois a cada 2 metros. Para este trabalho foram selecionadas as rodela ao nível do dap, que foram utilizadas para efetuar a medição dos anéis para a caracterização dendroclimática e para a análise das dimensões dos vasos.

Foram cortados 3 toros em cada árvore, a três níveis de altura (junto à base, nível intermédio e um nível superior) (figura 9a). Os toros foram posteriormente seccionados em tábuas (3 em cada nível), num total de 90 tábuas (conjunto dos dois locais), donde foram extraídos provetes para a análise da dureza.

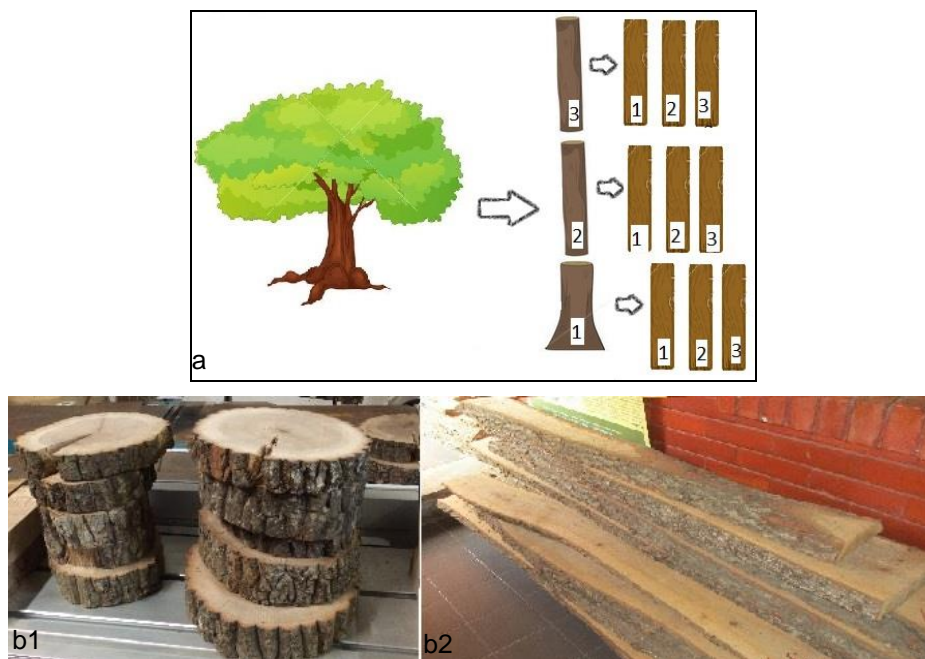


Figura 9. a - Esquema do corte para a obtenção de tábuas efetuado. b - Amostragem em rodela (b1) e tábuas (b2) do trabalho experimental.

3.1. DADOS CLIMÁTICOS

Os dados climáticos, para a análise dendroclimática foram obtidos através da ferramenta CLIPICK – *Climate Change Web Picker* (<http://home.isa.utl.pt/~joaopalma/projects/agforward/clipick/>), apenas disponíveis para o intervalo de tempo entre 1951 e 2013. Foi recolhida informação ao nível mensal de temperatura (média, mínima e máxima), precipitação, radiação (MJ. m^{-2}), humidade relativa (máxima e mínima), evaporação e velocidade do vento. Neste trabalho apenas se utilizaram os valores de temperatura média, mínima e máxima, precipitação e radiação solar.

3.2. MEDIÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO

Todas as rodela foram polidas recorrendo-se a lixas com granulometrias decrescentes. Primeiro usou-se uma lixa P60, seguindo-se uma granulometria correspondente a P120 com uma lixadeira manual do tipo BOSH PEX 115 A (figura 10). Este processo foi efetuado até ser possível distinguir os anéis de crescimento, lenhos de início (EW) e de fim de estação (LW).

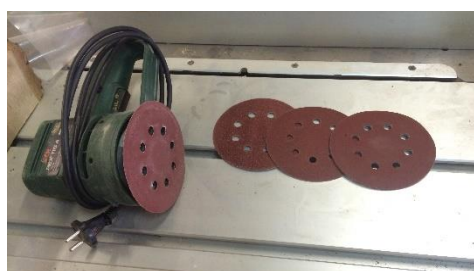


Figura 10. Lixadeira manual (BOSH PEX 115 A), utilizada para preparação das amostras

Para a realização das medições utilizou-se uma mesa de medição por deslocamentos verticais (LINTAB Linear table 560 mm/2,5mm), um stereo Microscope LEICA M80 e o software TSAP-Win (figura 11). Para cada amostra efetuaram-se duas séries de medições dos anéis de crescimento, selecionando-se um diâmetro, o mais isento possível de defeitos (por exemplo nós, lenhos de reação, podridões). A medição dos anéis foi realizada do câmbio para a medula, considerando-se a média das duas séries como o valor de referência para cada árvore. Adicionalmente determinaram-se o número de anéis de cerne e borne, fazendo-se a distinção de forma visual através das suas diferenças de cor.



Figura 11. Mesa digitalizadora para observação e medição dos anéis de crescimento.

3.2.1. CONSTRUÇÃO DE CRONOLOGIAS E IDENTIFICAÇÃO DE SINAIS CLIMÁTICOS

A análise dos anéis medidos foi feita com recurso ao software estatístico R. Este programa possui uma linguagem de programação que interliga a programação e o software para a computação estatística. É um software gratuito e *open-source*, licenciado pela GNU-*General Public License*.

Para estudos de dendroclimatologia, o software possui várias *packages*, para a análise de dados. Para a análise efetuada neste trabalho utilizaram-se as *packages dp1R* e *treeclim*.

Package *dp1R* – dendrochronology program Library in R, permite a leitura de ficheiros com informação de séries de anéis de crescimento em formatos padrão, permitindo efetuar diversas análises como a criação de cronologias, padronização e determinação dos índices de crescimento (RWI). O ajuste de funções de crescimento pode ser efetuado de forma interativa e individual para cada uma das séries (Bunn 2008), tendo-se utilizado este método para o ajuste das funções de crescimento, determinação do RWI. As séries de crescimento foram analisadas para cada um dos locais, obtendo-se uma cronologia de referência de cada local, efetuando-se a determinação de

possíveis sinais climáticos (com a package *Treeclim*). Este processo foi elaborado para as séries com os valores do anel completo (RW) e para os lenhos de início (EW) e final (LW) de estação.

Package Treeclim, permite a análise de sinais climáticos. A análise foi feita para as cronologias de cada um dos locais e para o anel completo (RW) e lenhos de início (EW) e final de estação (LW) para as variáveis de temperatura média, máxima e mínima, precipitação e radiação solar.

Foram calculados vários indicadores estatísticos de forma a avaliar a qualidade das cronologias efetuadas. Os parâmetros que foram calculados, são apresentados no capítulo dos resultados e incluem:

- Sensibilidade média (m_{sx}) – indicador da resposta da árvore a fatores ambientais. O padrão de variação da espessura dos anéis ao longo dos anos, reflete a variação do fator ambiental que é mais limitante para o crescimento da árvore. Mede a sensibilidade de uma série de anéis de crescimento, comparando a largura do anel de determinado ano com a largura do anel do ano seguinte, quantificando a variabilidade inter-anual. Os valores individuais (anuais) deste indicador variam entre zero (não existe diferença entre a espessura dos anéis consecutivos) e dois (o valor nulo surge perto de um valor não nulo) (Leal *et al.* 2008).

$$m_{sx} = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{t=n-1} \left| \frac{2(x_{t+1} - x_t)}{x_{t+1} + x_t} \right|$$

Fórmula 1. Sensibilidade média

onde x_t e x_{t+1} são as larguras dos anéis de crescimento das séries no determinado ano e no ano seguinte e n é o número de anos.

- Gleichaufigkeit (GLK) – indicador que mede a semelhança entre duas séries, analisando a tendência ascendente e descendente de dois pontos consecutivos no tempo, tratando-se de um indicador útil para datar amostras de idade desconhecida.
- Sinal efetivo da cronologia (r_{eff}) – tem em consideração a variabilidade dentro da árvore e a variabilidade entre árvores.

$$r_{eff} = \frac{r_{bt}}{r_{wt} + \frac{1 - r_{wt}}{c}}$$

Fórmula 2. Sinal efetivo da cronologia

onde, r_{wt} é o sinal intra-árvore (obtido pela média dos coeficientes de correlação calculados entre as séries indexadas da mesma árvore para todas as árvores), r_{bt} obtém-se através da média dos coeficientes de correlação calculados para todos os

possíveis pares de séries obtidas das diferentes árvores do mesmo local e c é o número de séries por árvore.

- Sinal expresso da população (EPS) – quantifica até que grau o sinal da cronologia é expresso quando são utilizados os valores médios das séries

$$EPS = \frac{r_{eff}}{r_{eff} + \frac{1 - r_{eff}}{n}}$$

Fórmula 3. Sinal expresso da população

- Proporção de ruído expresso no sinal (SNR) – expressa robustez do sinal comum observado entre árvores

$$SNR = \frac{nr_{bt}}{(1 - r_{bt})}$$

Fórmula 4. Proporção de ruído

3.3. ANÁLISE ANATÓMICA: VASOS

Foram utilizadas as amostras já analisadas para a medição dos anéis de crescimento, selecionando-se um dos raios para a medição dos parâmetros dos vasos. Para o raio selecionado em cada rodela, efetuou-se um polimento, utilizando-se lixas com granulometria mais fina, nomeadamente uma lixa P240 com recurso à lixadeira manual (figura 10). Seguidamente com uma lixadeira de detalhe fino PROXXON PS 13 (figura 12) e com recurso a duas lixas - P400 e P600, melhorou-se o polimento do raio selecionado, finalizando-se manualmente com uma lixa P1000.



Figura 12. Lixa de detalhe fino utilizada PROXXON PS 13.

A medição dos vasos foi efetuada fazendo imagens sequenciais seguindo um raio de cada rodela. Para tal utilizou-se um microscópio (Olympus SZH10) ao qual se encontrava ligada uma câmara (JVC modelo TK-C1380E). Para facilitar a deteção e individualização dos vasos fez-se o preenchimento dos vasos com cera (figura 13).

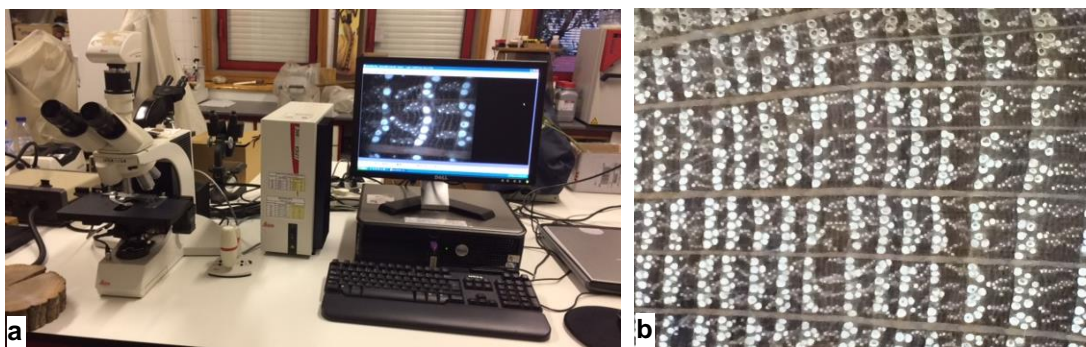


Figura 13. a - Microscópio e restante sistema utilizado na medição dos vasos. b - Aspeto dos vasos numa amostra após a aplicação de cera.

As imagens foram guardadas no formato JPEG através do software LEICA Qwin. Cada imagem cobriu cerca de 4,55 mm por 3,379 mm (2088 x 1550 pixels). Para cada uma das amostragens, efetuou-se a obtenção das imagens e a medição dos vasos iniciando-se na medula e partindo depois para a zona do câmbio (figura 14).

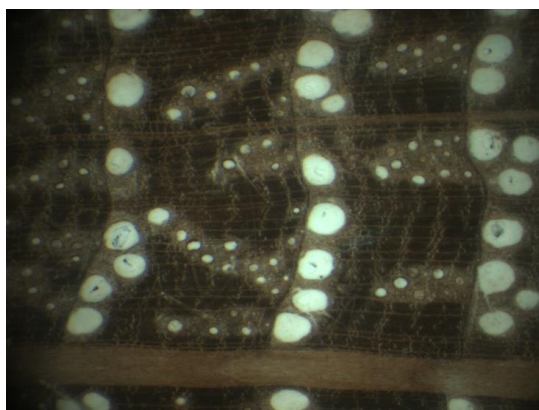


Figura 14. Exemplo de uma das imagens sequenciais efetuadas.

As imagens foram posteriormente transformadas para o formato binário (escala de branco a preto) para que fosse possível com o *software* identificar os vasos como objetos individuais e de forma automática. Na figura 15 apresenta-se uma das medições efetuadas em vasos de lenho de início de estação, onde a azul se encontra a deteção automática dos vasos pelo software. Por vezes foi necessário efetuar algumas correções com o objetivo de eliminar objetos detetados automaticamente, mas que não correspondiam a vasos ou por outro lado fazer a seleção dos vasos de forma manual, quando estes não eram automaticamente detetados. As medições foram efetuadas para cada anel individualmente, medindo-se a totalidade dos vasos. Em algumas amostras foram efetuadas medições distintas para vasos de lenho de início e de final de estação.

As correlações entre as variáveis determinadas foram calculadas, utilizando o software de tratamento estatístico SPSS.

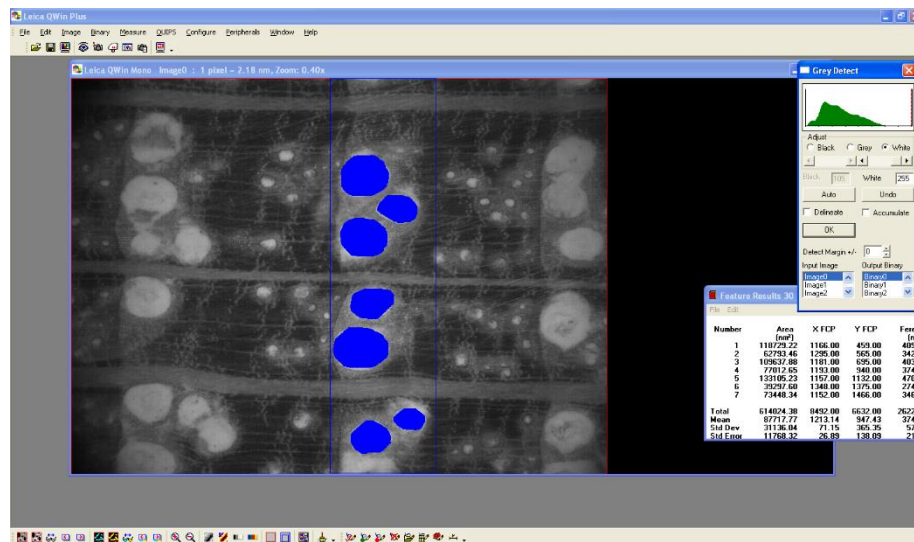


Figura 15. Exemplo de uma medição efetuada.

3.4. ENSAIOS DE DUREZA

Os ensaios de dureza foram realizados no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) de acordo com a norma EN 1534:2010. Para a elaboração dos ensaios de dureza, selecionou-se o toro 2 das 5 árvores dos dois locais e os provetes foram feitos com a madeira das tábuas 2 (ver esquema da figura 9a). Adicionalmente, para uma árvore de cada local, efetuaram-se amostras de uma tábua (tábua 3) de cada um dos toros abrangendo assim os três níveis da amostragem. Foram efetuadas 7 repetições de cada tábua de amostragem, totalizando 98 amostras (49 para cada um dos locais). Os provetes de amostragem preparados possuíam as dimensões de 4x4x1 cm na direção radial, transversal e tangencial, respetivamente.

Os ensaios foram realizados numa máquina de ensaios universal SHIMADZU modelo AG-250 de 250 KN de capacidade e 0,5 de classe de precisão. A velocidade de ensaio adotada foi de 2 mm/min para todas as amostras com uma esfera de 10 mm de diâmetro (figura 16).

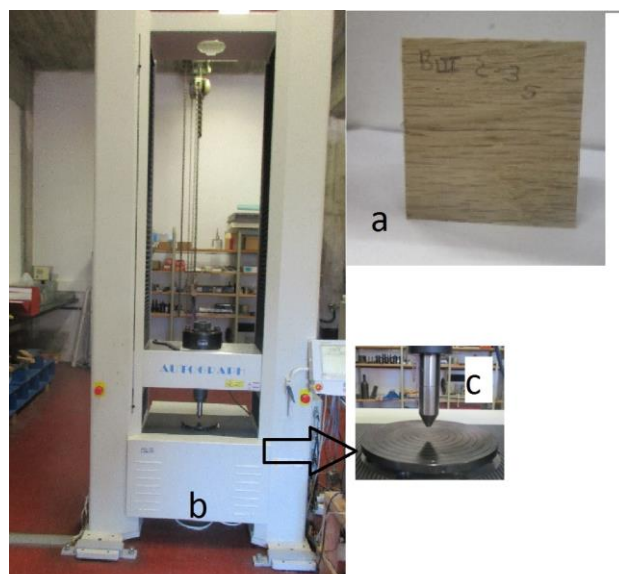


Figura 16. Máquina de ensaios utilizada (b), exemplo de uma das amostras do teste (a) e pormenor da esfera que entrou em contacto com a amostra (c).

O procedimento base de aplicação da carga utilizado apresenta-se descrito nos passos da tabela 3, adaptado da norma EN 1534:2010.

Tabela 3. Procedimento do ensaio de dureza.

Passo	Procedimento de carga	Tempo em segundos
0	$F=0$	-
0-1	Aplicar $F = 1\text{ kN}$	15
1-2	Manter $F = 1\text{ kN}$	25
2-3	Retirar F	-

Após a aplicação da carga sob o plano tangencial de cada provete, efetuaram-se as medições dos diâmetros cruzados das mossas efetuadas pela aplicação da força em cada uma das amostras analisadas, tal como apresentado na figura 17.

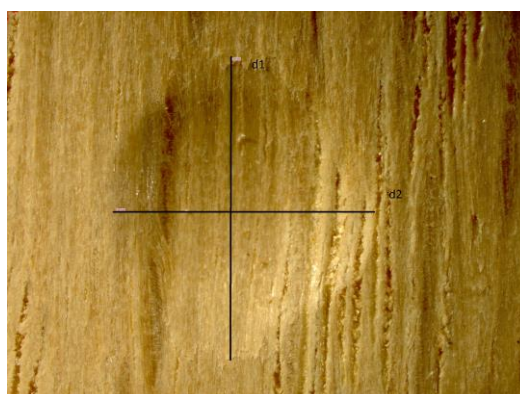


Figura 17. Imagem de uma amostra após o teste de dureza, onde se verifica a deformação efetuada pela esfera. d1 e d2 apresenta os diâmetros cruzados que foram medidos.

Calculou-se a dureza de Brinell utilizando-se a fórmula 5, seguindo indicações da norma EN1534:2010.

$$HB = \frac{2F}{g \cdot \pi \cdot D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$$

Fórmula 5. Dureza de Brinell.

Onde:

HB – dureza de Brinell, em Newton por milímetro quadrado (N.mm⁻²)

F – força máxima aplicada, em Newton (N)

g – aceleração da gravidade, em metros por segundo quadrado (m.s⁻²)

π – fator “pi” (aproximadamente 3,14)

D – diâmetro da esfera em milímetros (mm)

d – diâmetro de indentação residual (resultante da média dos diâmetros das mossas residuais) em milímetros (mm)

4. RESULTADOS & DISCUSSÃO

4.1. ANÁLISE ANATÓMICA

A madeira de *Q. cerris* analisada, apresentou porosidade em anel com vasos solitários distinguindo-se claramente os vasos do lenho de início e de fim de estação (figura 18). Observações em concordância com as efetuadas por Romagnoli and Codipietro (1996), Carvalho (1997) e Cherubini *et al.* (2003) para a mesma espécie.

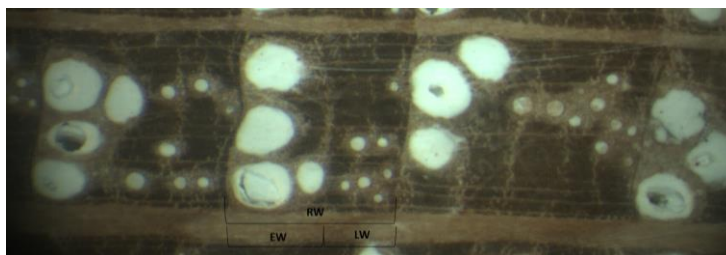


Figura 18. Imagem sequencial da madeira de *Q. cerris* observada na secção transversal, verificando-se a dimensão e distribuição dos vasos num anel completo (RW) e a identificação dos vasos do lenho de início (EW) e final (LW) de estação.

As espécies do género *Quercus* apresentam diversos tipos de porosidades: algumas espécies possuem porosidade em anel (*Q. robur*, *Q. rubra*, *Q. petraea*, *Q. pubescens* e *Q. pyrenaica*); enquanto outras espécies possuem porosidade difusa (*Q. ilex*). O *Q. suber* apresenta porosidade semi-difusa. No entanto estas classificações podem ser controversas, tendo classificações distintas consoante o autor.

O tipo de porosidade tem influência no comportamento das espécies sujeitas a fatores externos. Por exemplo Cherubini *et al.* (2003) refere em condições de seca uma maior competitividade do *Q. suber* (porosidade semi-difusa) no que diz respeito ao armazenamento de água, quando comparado com o *Q. cerris* (porosidade em anel), uma vez que continua a extração de água em quantidade suficiente do solo mantendo a hidratação foliar, enquanto que o *Q. cerris* sofre de desidratação.

Na figura 19, apresenta-se a análise efetuada para a distribuição do número de vasos totais medidos por anel de crescimento para os dois locais de estudo – Blinaja e Dubočak.

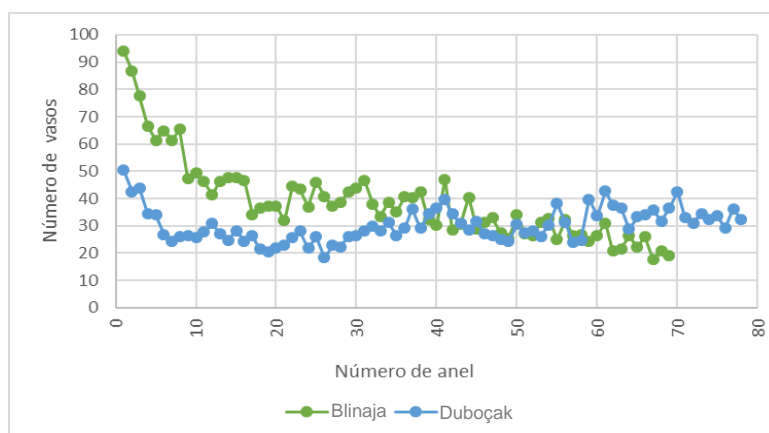


Figura 19. Número de vasos, em cada um dos anéis para os dois locais de estudo. (Blinaja a verde e Duboçak a azul), medidos a 1,30m de altura e para 5 árvores de cada local.

O povoamento de *Q. cerris* localizado em Blinaja apresentou uma maior quantidade de vasos nos primeiros 20 anos de vida do povoamento, possuindo quase o dobro dos anéis nos primeiros 10 anos que as árvores da parcela localizada em Duboçak. Entre os 20 e os 60 anos, os dois locais possuem o número de vasos por anel muito próximos, enquanto que a partir do anel 60, parece haver uma tendência de aumento do número de vasos em Duboçak, decrescendo em Blinaja. No geral verificou-se que para os dois locais a tendência é a diminuição do número de vasos com o aumento da idade cambial.

Foram analisados os seguintes parâmetros biométricos: diâmetro tangencial, área média dos vasos (mm²) por anel, frequência (ou densidade correspondente ao nº de vasos/mm²) e proporção dos vasos (área de vasos/mm²). Os resultados das medições dos diâmetros tangenciais apresentam-se na tabela 4, para os dois locais e para a dimensão total do anel de crescimento (RW), lenho de início (EW) e lenho de fim (LW) de estação.

Tabela 4. Análise do diâmetro tangencial (mm) dos vasos de *Q. cerris*. Médias, desvio padrão, máximo e mínimo de 5 árvores os dois locais de estudo e para os lenhos total (RW), início de estação (EW) e fim de estação (LW).

	RW		EW		LW	
	Blinaja	Duboçak	Blinaja	Duboçak	Blinaja	Duboçak
Média ± Desvio padrão	0,135±0,103	0,134±0,101	0,279±0,088	0,274±0,078	0,073±0,026	0,072±0,027
mínimo	0,013	0,015	0,031	0,028	0,015	0,024
máximo	0,765	0,552	0,510	0,443	0,320	0,290

Não se verificou uma diferença muito significativa quando se considera o valor médio obtido para o lenho total (RW) entre os dois locais, uma vez que Blinaja apresenta um diâmetro tangencial médio de 0,135 e Duboçak um valor de 0,134 mm, embora os resultados sejam inferiores às dimensões referidas por Carvalho (1997), que apresenta valores entre 0,150 e 0,210 mm para o *Q. cerris*.

O lenho de início de estação (EW) apresentou vasos com um diâmetro tangencial médio superior ao lenho de fim de estação (LW), verificando-se que o diâmetro médio dos vasos do EW é cerca de 26% superior que o LW para os dois locais.

Na figura 20 apresenta-se a área média dos vasos (mm^2) para cada um dos anéis analisados.

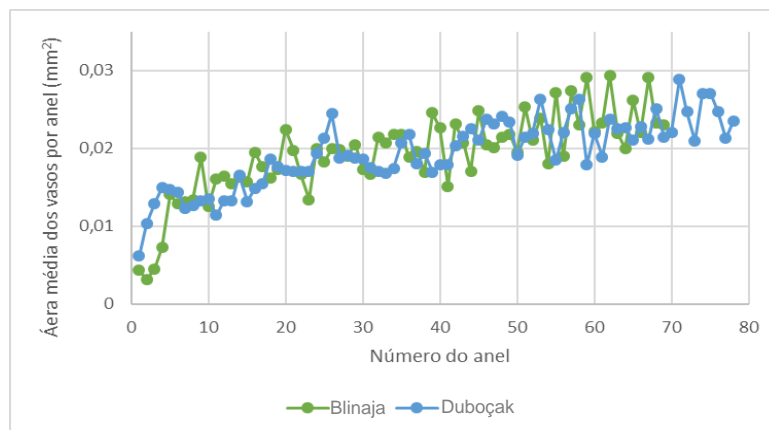


Figura 20. Distribuição da área média de vasos ao longo dos anéis de crescimento para Duboçak e Blinaja. Medição feita a 1,30 m de altura e para 5 árvores de cada local.

Nos primeiros 10 anéis foi notória a tendência de crescimento da área média dos vasos com o aumento da idade cambial, para os dois locais, tendo-se verificando-se uma área média superior para Duboçak. Apesar da tendência ser crescente, Blinaja apresenta alguns anos com decréscimo da área média dos vasos. Para Duboçak pode considerar-se a que a tendência é crescente até ao anel 50, apresentando posteriormente um comportamento semelhante ao apresentado por Blinaja, em que se verifica um aumento e diminuição da área média dos vasos de ano para ano. No geral, para os dois locais em estudo pode afirmar-se que a área média de cada vaso é inferior no período juvenil com áreas médias inferiores a $0,01 \text{ mm}^2$, aumentando com a idade, com valores entre os $0,02$ e $0,03 \text{ mm}^2$, a partir dos anéis 50.

A distribuição da frequência é apresentada no gráfico da figura 21.

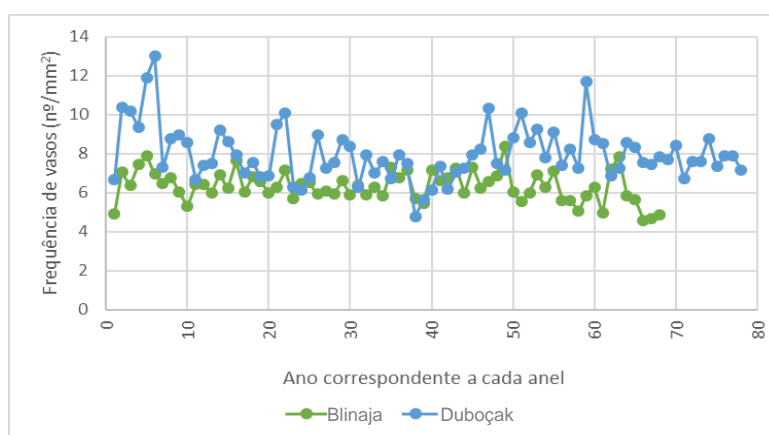


Figura 21. Distribuição de vasos por área amostrada (n° de vasos por mm^2). Medição feita a 1,30 m de altura e para 5 árvores de cada local.

Verificou-se que contrariamente à análise feita para o número de vasos por anel, nesta análise o número de vasos por mm^2 foi, em geral superior para a análise feita nas árvores de Duboçak. Não se verifica uma tendência crescente ou decrescente da frequência para os dois locais ao longo da análise radial efetuada.

Na figura 22 apresenta-se a proporção em percentagem de vasos ao longo dos anéis de crescimento para os dois locais de estudo.

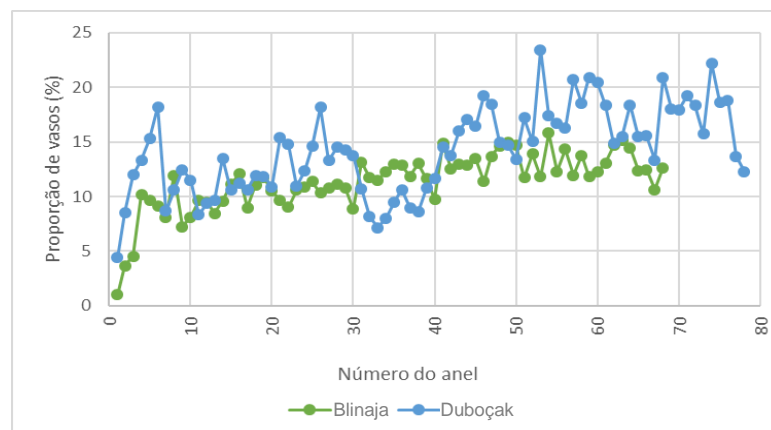


Figura 22. Proporção de vasos por anel de crescimento. Medição feita a 1,30 m de altura e para 5 árvores de cada local.

Quanto à proporção de vasos, correspondente à percentagem de vasos existente na área de cada anel, verificou-se um ligeiro aumento da proporção com o aumento da idade cambial para as duas parcelas. O povoamento de Duboçak apresentou uma maior proporção de vasos ao longo do crescimento cambial, com exceção da proporção entre os anéis 30 e 40, onde a proporção foi maior para Blinaja. A partir do anel 40 para os dois locais, não se verifica uma tendência clara de crescimento ou decréscimo, sendo “intermitente” ao longo dos anos, crescendo e diminuindo quase ano sim ano não.

Estudos de variações biométricas dos vasos que têm sido feitos em função da idade para algumas espécies de carvalhos, evidenciam que a área média tem tendência a aumentar com o aumento da idade cambial (da medula para o câmbio), enquanto que o número de vasos tende a diminuir (Leal *et al* 2007; Sousa *et al*, 2009; Sousa, 2013), resultados que estão em concordância com os valores obtidos neste trabalho (figuras 19 e 20).

As tabelas 5 e 6 apresentam as correlações entre as variáveis amostradas: NV (número de vasos), MVA (área média de vasos, mm²), RW (largura do anel de crescimento, mm), VF (frequência de vasos por mm²) e VP (proporção de vasos, %) para Blinaja e Duboçak. Esta análise foi feita cobrindo 66 anéis desde o ano cronológico 1949 a 2014, para o número de anos cronológicos comuns entre os dois locais de estudo.

Tabela 5. Coeficientes de correlação entre as variáveis dos vasos, para o local Blinaja. (NV: número de vasos, MVA: área média dos vasos, RW: largura do anel de crescimento, VF: Frequência de vasos por mm², VP: proporção de vasos. **: p<0,01 (2-tailed); *: p<0,05 (2-tailed).

Variável	NV	MVA	RW	VF	VP
NV	1	-0,854**	0,927**	0,061*	-0,743**
MVA	-	1	-0,747**	-0,232**	0,777**
RW	-	-	1	-0,149*	-0,847**
VF	-	-	-	1	0,027*
VP	-	-	-	-	1

Tabela 6. Coeficientes de correlação entre as variáveis dos vasos, para o local Dubočak. (NV: número de vasos, MVA: área média dos vasos, RW: largura do anel de crescimento, VF: Frequência de vasos por mm², VP: proporção de vasos. **: p<0,01 (2-tailed); *: p<0,05(2-tailed).

Variável	NV	MVA	RW	VF	VP
NV	1	-0,130**	0,677**	0,083*	-0,003**
MVA	-	1	-0,028**	-0,147*	0,740**
RW	-	-	1	-0,586*	-0,285**
VF	-	-	-	1	0,375*
VP	-	-	-	-	1

Para os dois locais verificaram-se correlações significativas entre todas as variáveis estudadas.

Para Blinaja (tabela 5) obtiveram-se correlações negativas entre o NV e MVA (-0,854, p<0,01); MVA e RW (-0,747, p<0,01) e positivas para MVA e VF (-0,232, p<0,01), RW e VF (-0,149, p<0,05) e RW e VP (-0,847, p<0,01), com destaque para as relações negativas entre o NV e MVA; RW e VP, com os coeficientes mais elevados. As restantes relações foram positivas, tendo-se obtido o coeficiente de correlação mais elevado para a correlação entre NV e RW (0,927 p<0,01), mostrando uma correlação positiva entre o número de vasos e a largura dos anéis de crescimento. A correlação positiva entre o VF e o VP foi das mais baixas (0,027, p<0,05).

Analisando a tabela 6, para Dubočak verificou-se que no geral os coeficientes de correlação obtidos foram inferiores aos obtidos para Blinaja, à exceção do coeficiente de correlação entre o NV e VF que foi superior para Dubočak (0,083, p<0,05 em Dubočak e 0,061, p<0,05 em Blinaja). Em Dubočak o coeficiente de relação entre MVA e VP foi o superior, tendo-se verificado um coeficiente positivo de 0,740, p<0,01. O sinal entre as relações manteve-se para as duas parcelas, tendo sido positivo nas relações NV vs RW, NV vs VF, MVA vs VP, VF vs VP e negativo para NV vs MVA, MVA vs VF, RW vs VF, RW vs VP.

A relação inversa existente entre as variáveis NV com MVA e VF com MVA verificada, é consistente com estudos feitos para outras espécies como o caso do *Q. faginea* (Sousa *et al.* 2015).

Estudos de distribuição de dimensões de vasos encontram-se relacionados com características tecnológicas, tais como a densidade da madeira. Propriedades como o tamanho e densidade dos vasos têm um efeito maior na densidade da madeira, sendo tendencialmente inversamente proporcionais. Uma menor variação radial do tamanho dos vasos e com dimensões relativas menores, resultam em madeiras com maiores densidades e menor variabilidade desta característica (densidade) ao longo da árvore (Knapic *et al.* 2007).

As dimensões de vasos encontram-se também relacionadas com a permeabilidade, uma vez que estas estruturas anatómicas são as principais responsáveis pelo fluxo de fluidos (Leal *et al.* 2007; Sousa 2013). Esta propriedade tem extrema importância quando se considera a impregnabilidade, influenciando a possibilidade de utilização de produtos preservantes da madeira (como por exemplo anti fúngicos) (Leal *et al.* 2007). As características dos vasos têm ainda influência na difusão da água durante a secagem de madeira, ou quando em utilização na resposta a alterações de humidade relativa das zonas envolventes (Leal *et al.* 2007).

4.2 DENDROCLIMATOLOGIA

4.2.1. MEDIÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO E PADRONIZAÇÃO DAS SÉRIES CRONOLÓGICAS

Dos dois locais amostrados, obtiveram-se valores médios de idade de 77 anos para Duboçak, e de 67 anos para Blinaja. Na tabela 7 apresenta-se um resumo dos dados médios recolhidos para os dois locais.

Tabela 7. Caracterização das amostragens realizadas para os dois locais.

Local	Diâmetro médio (mm)	Nº de árvores	Nº de raios amostrados por árvore	Data i	Data f	Nº de anos Médio	Nº anos do cerne	Nº anos do borne
Blinaja	243,95	5	2	1946	2014	67	44	22
Duboçak	214,31	5	2	1932	2014	77	55	22

A distinção entre cerne e borne efetuou-se através da diferença visual da sua coloração. O cerne apresentou uma coloração mais escura que o borne, possuindo uma boa definição da delimitação ao longo das rodela analisadas (figura 23).

Os dois locais em estudo apresentaram semelhanças quanto à idade do borne possuindo o mesmo número médio de anéis (22). O cerne da parcela Duboçak (árvores mais velhas) apresentou um maior número médio de anéis de cerne (55) em relação à parcela em Blinaja (44 anéis de cerne). Não foram encontrados, na bibliografia consultada, resultados que relacionem as idades do cerne e borne para o *Q. cerris*. A maioria dos resultados encontra-se relacionada com análises de durabilidade, composição química e durabilidade, enquanto que os estudos relacionados com o borne são direcionados para a relação entre a área de borne e a área foliar ou o fluxo de seivas (Sousa *et al.* 2013).



Figura 23. Exemplo de uma rodela de *Q. cerris*, mostrando a distinção de coloração entre o cerne e borne.

Das medições efetuadas para cada amostra, calcularam-se os valores médios da espessura dos anéis de crescimento (tabela 8).

Tabela 8. Espessura média, máxima e mínima dos anéis de crescimento (mm), para cada um dos locais e para a largura total do anel (RW); lenho de início de estação (EW) e lenho de fim de estação (LW).

Local	RW			EW			LW		
	Média ± Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Média ± Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Média ± Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Blinaja	1,76 ± 0,57	0,65	4,06	1,13 ± 0,44	0,34	2,87	0,63 ± 0,20	0,31	1,69
Duboçak	1,21 ± 0,49	0,27	2,97	0,67 ± 0,34	0,09	2,06	0,53 ± 0,18	0,12	1,17

A espessura média dos anéis do RW (largura total) foi superior para as árvores de Blinaja, com uma espessura média de 1,76 mm. Em Duboçak a espessura média foi de 1,21 mm. Tendo em conta os valores dos seus diâmetros médios, este resultado era esperado uma vez que as amostras de Blinaja possuem um diâmetro médio de 243,95 mm (tabela 8) superior ao diâmetro médio da amostragem de Duboçak com 214,31 mm. Como as árvores de Duboçak possuem uma idade média superior, a espessura média dos anéis de crescimento é inferior quando comparada com a espessura média em Blinaja (menor idade).

Os resultados apresentados para o RW foram idênticos para o lenho de início (EW) e lenho de fim de estação (LW), uma vez que se obteve uma espessura média superior para a amostragem de Blinaja com um valor médio de 1,13 mm de EW e 0,63 mm para LW enquanto que para Duboçak estes valores foram de 0,67 para o EW e 0,53 para o LW. Também se verificou que a espessura média do EW foi superior que a espessura de LW para os dois locais de estudo.

Considerando as características edafoclimáticas de cada um dos locais analisadas no capítulo 3, a altitude parece ser a característica com maior distinção entre os dois locais, Blinaja com 650-710 metros e Duboçak com 830-900 metros. Numa primeira análise, poderá entender-se que o crescimento foi menor para o local com maior altitude, no entanto não se pode concluir que este seja o fator principal, pois existem outros fatores a considerar como as características biométricas dos povoamentos, as intervenções silvícolas a que os povoamentos foram sujeitos, características dos solos e condições climática (muito semelhantes para os dois locais, como verificado na tabela 2).

Na figura 24, apresentam-se as séries de crescimento médias para cada local. Ao longo do período analisado, verificou-se um crescimento superior para Blinaja, que abrangeu a maior parte período de tempo, destacando-se os primeiros 40 anéis, a partir dos quais e até ao anel 50 a espessura média dos anéis de crescimento foi semelhante para os dois locais (ligeiramente superior Duboçak). Entre os anéis 50 e 60 a espessura foi superior na parcela de Blinaja e a partir do anel 60, Duboçak apresentou a espessura média dos anéis superior.

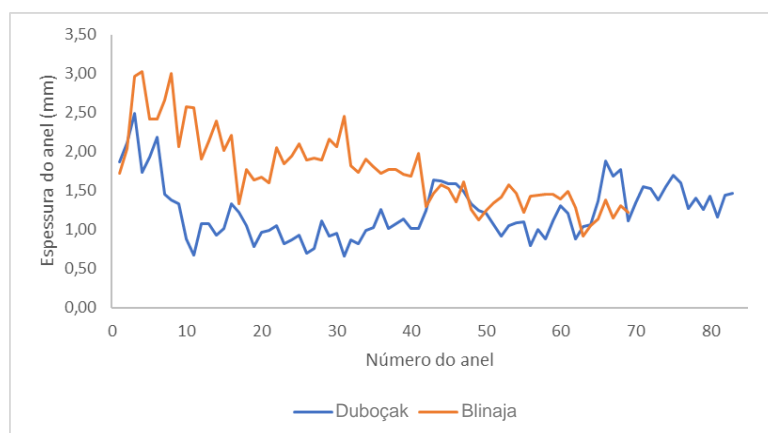


Figura 24. Espessura total média dos anéis de crescimento para Blinaja e Duboçak.

As figuras 25 e 26 apresentam-se as séries de anéis de crescimento (espessura total do anel e lenhos de início e de fim de estação) para os dois locais amostrados – Blinaja e Duboçak para a totalidade das amostras analisadas. A série apresentada refere-se à média dos dois raios medidos para cada amostra.

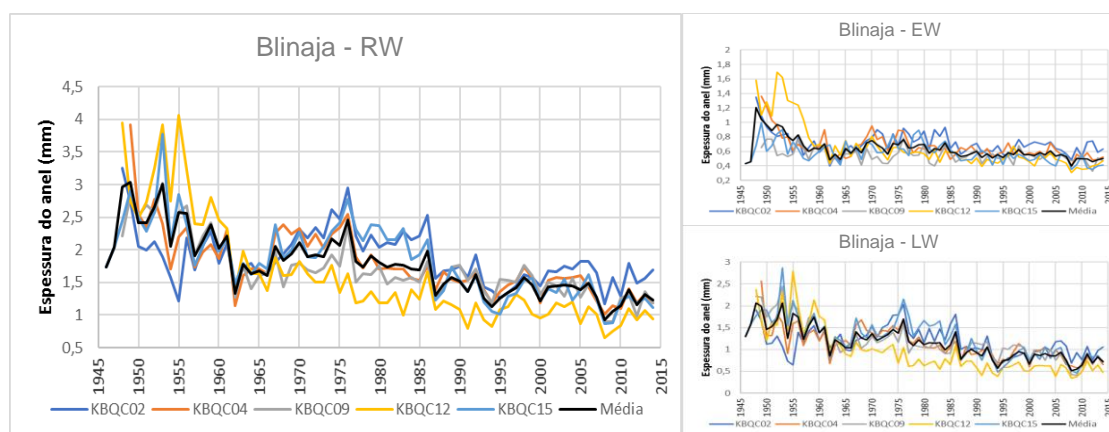


Figura 25. Séries de crescimento para Blinaja (RW- anel de crescimento completo, EW - lenho de início de estação, LW- lenho de fim de estação).

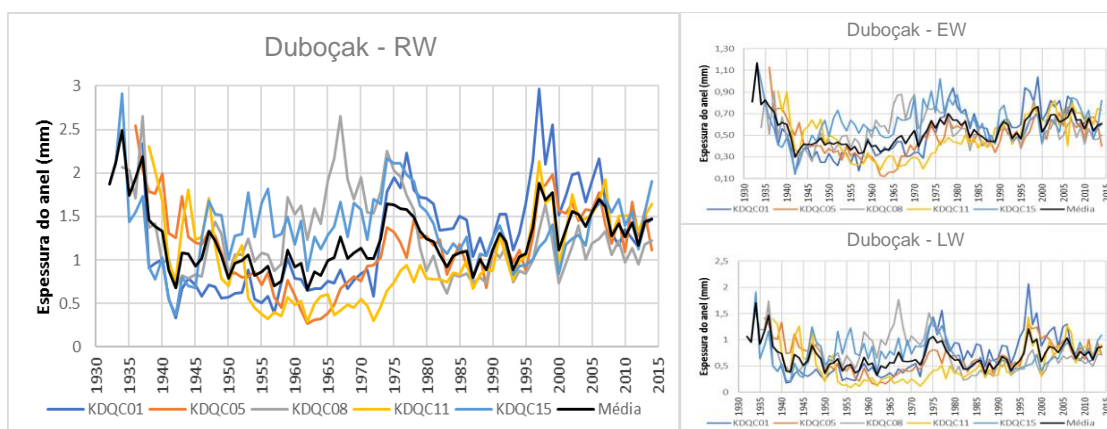


Figura 26. Séries de crescimento para Duboçak (RW- anel de crescimento completo, EW - lenho de início de estação, LW- lenho de fim de estação).

Verificou-se um comportamento diferente no crescimento para os dois locais em estudo, embora seja perceptível a tendência natural de decréscimo do crescimento da árvore com a idade, mais evidente na parcela de Blinaja. Na análise das séries de crescimento de Duboçak verifica-se um aumento entre os anos 1995 e 2005, onde os crescimentos atingem valores do crescimento juvenil.

Comparando as medições médias de cada um dos locais, estimou-se o parâmetro *Gleichläufigkeit* (GLK). O parâmetro GLK varia entre 0,59 e 0,69 para a amostragem total. Para Blinaja, o valor de GLK encontra-se entre 0,63 e 0,67 e para Duboçak entre 0,59 e 0,69. O valor médio total obtido foi de 0,64 para as amostras dos dois locais. A análise deste parâmetro permitiu aceitar a totalidade da amostragem para a análise estatística de padronização de séries de crescimento.

De forma a eliminar os efeitos da idade de crescimento, sobre cada curva foi ajustada uma função exponencial negativa para todas as séries e para os dois locais de estudo, aplicada igualmente por Stafasani and Toromani (2015) para a mesma espécie na Albânia. Após o ajustamento da curva para cada série individual dos anéis de crescimento, a curva indexada (cronologia) foi obtida através da divisão de cada valor observado pelo valor ajustado para cada ano. Foram obtidas as cronologias finais para cada um dos locais (resultante da média das cronologias de cada árvore em cada um dos respectivos locais), que se apresenta na figura 27.

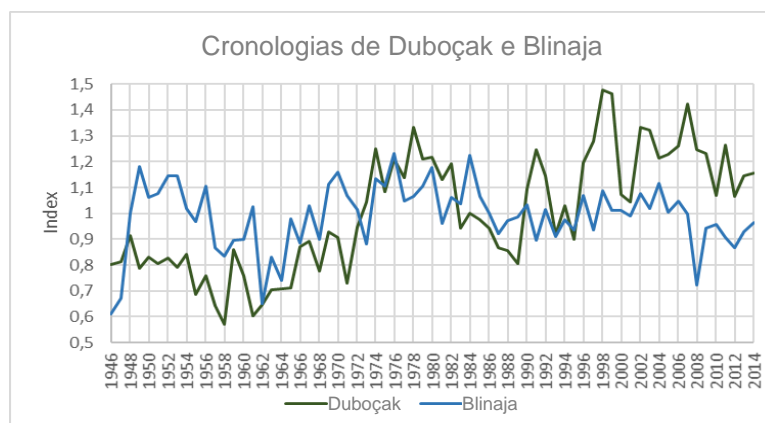


Figura 27. Cronologias obtidas para os dois locais de estudo.

Sobrepondo-se o número de amostras utilizadas (área sombreada) para o cálculo da cronologia de cada local, apresentam-se as figuras 28 e 29.

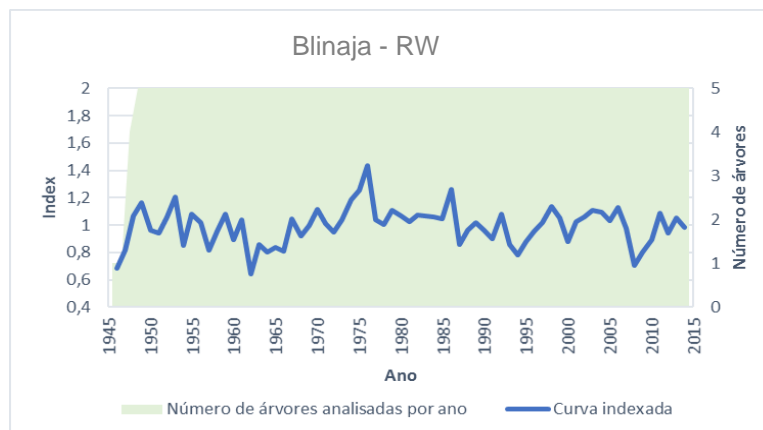


Figura 28. Curva indexada de *Q. cerris* na parcela Blinaja e o número de amostras utilizadas para o seu cálculo.

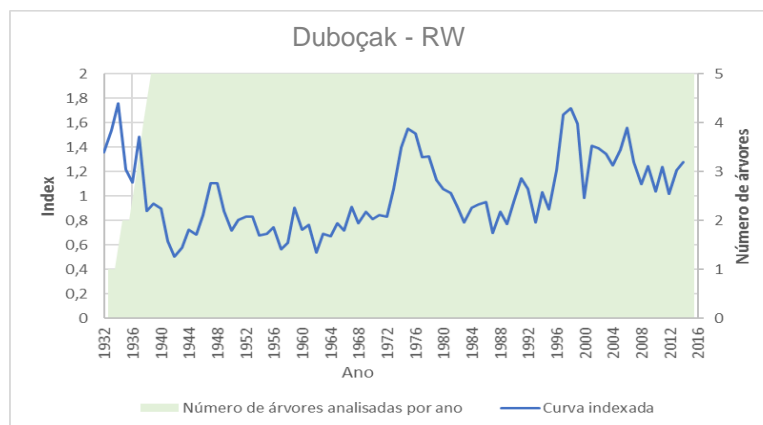


Figura 29. Curva indexada de *Q. cerris* na parcela Duboçak e o número de amostras utilizadas para o seu cálculo.

As cronologias para os dois locais apresentaram um índice que varia entre zero e dois, não apresentando uma tendência linear tal como referido por Fritts (1976). Com a remoção das alterações sistemáticas na espessura dos anéis verificou-se uma clara distinção entre as árvores de cada um dos locais. Para Duboçak a tendência foi decrescente nos primeiros anos, com picos em 1976 e 1996, enquanto que em Blinaja não se verificou uma tendência bem definida existindo vários picos de crescimento e decréscimo ao longo da cronologia.

A análise estatística apresenta-se na tabela 9. Os valores apresentados são referentes a sensibilidade média (m_{sx}), sinal efetivo da cronologia (r_{eff}), sinal expresso da população (EPS) e proporção de ruído do sinal (SNR).

Tabela 9. Indicadores estatísticos das cronologias para Duboçak e Blinaja e para o anel completo (EW), lenho de início (EW) e lenho de fim de estação (LW).

Local	RW				EW				LW			
	m_{sx}	r_{eff}	EPS	SNR	m_{sx}	r_{eff}	EPS	SNR	m_{sx}	r_{eff}	EPS	SNR
Blinaja	0,152	0,475	0,786	3,666	0,162	0,222	0,536	1,156	0,203	0,446	0,765	3,264
Duboçak	0,193	0,320	0,693	2,257	0,181	0,359	0,728	2,683	0,278	0,321	0,694	2,272

m_{sx} – sensibilidade média, r_{eff} – sinal efetivo da cronologia, EPS – sinal expresso da população, SNR – proporção de ruído no sinal

As cronologias obtidas para Duboçak apresentaram uma qualidade inferior às obtidas para Blinaja. Para Duboçak resultou um valor de EPS, r_{eff} e SNR inferior para o RW e LW. No entanto, quando se considera o EW, foi para Duboçak que resultaram os valores de r_{eff} , EPS e SNR superiores.

A sensibilidade média foi superior para o LW quando comparado com o EW, para os dois locais, demonstrando uma maior sensibilidade a variáveis externas para o LW.

Verificou-se que o valor do EPS é baixo para a análise dos efeitos do clima no crescimento radial. Embora não exista um valor de EPS que garanta a relevância da cronologia para a reconstrução climática, uma vez que o sinal poderá refletir eventos não climáticos relacionados com todos os fatores bióticos que interferem com a variabilidade de crescimento de um determinado povoamento, é referido que valores acima de 0,85 são razoáveis para qualquer estudo dendroclimatológico (Wilson and Elling 2004, Campelo *et al.* 2006, Stafasani and Toromani 2015). Embora todos os valores obtidos de EPS sejam inferiores a 0,85, optou-se, ainda assim, por efetuar a análise climática do crescimento radial para os dois locais de estudo.

4.2.2. IDENTIFICAÇÃO DE SINAIS CLIMÁTICOS

A análise efetuada para a identificação de sinais climático abrangeu o período cronológico de 1952 a 2013, período para o qual foi possível a obtenção dos dados climáticos.

No que diz respeito à identificação de sinais climáticos, apresentam-se nos capítulos seguintes os valores dos coeficientes de correlação entre as variáveis climáticas temperaturas máxima, mínima e média; precipitação e radiação solar e os anéis de crescimento para o crescimento total (RW), lenho de início (EW) e lenho de fim de estação (LW), complementou-se a análise através da análise entre o acumulado de precipitação e temperaturas médias em determinados períodos de tempo. Adicionalmente para o RW fez a análise da estabilidade temporal das relações dendroclimáticas e uma análise de correlações temporais (1,3 e 6 meses) para as variáveis climáticas de precipitação e temperatura.

Segundo a análise feita para o clima das parcelas de estudo, não se verifica uma diferença muito significativa entre as variáveis climáticas dos dois locais, como pode ser verificada pelas referências edafoclimáticas apresentadas no capítulo 3. Nos meses de junho a setembro o gráfico ombrotérmico apresenta a curva da temperatura sobreposta à precipitação, sugerindo eventos de seca. De destacar que o mês mais quente é agosto, sendo também o mês com menos precipitação. Enquanto que o mês de janeiro é o mais frio. Os dois locais diferenciam-se pela precipitação total anual que é superior em Blinaja com 515 mm. Duboçak apresenta 487 mm de precipitação anual.

4.2.2.1 COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO

As tabelas seguintes (tabela 10 a 12), apresentam os coeficientes de correlação em relação às variáveis climáticas: temperatura média, máxima e mínima; precipitação e radiação solar para cada um dos locais de estudo (Blinaja e Dubočak) e para os anéis de crescimento anual: RW, EW e LW.

Tabela 10. Coeficientes de correlação (nível de significância de 95%) entre as variáveis climáticas (Temperatura média, máxima e mínima; precipitação e Radiação solar para a espessura total dos anéis de crescimento (RW).

	Temperatura média		Temperatura máxima		Temperatura mínima		Precipitação		Radiação Solar	
	Blinaja	Duboçak	Blinaja	Duboçak	Blinaja	Duboçak	Blinaja	Duboçak	Blinaja	Duboçak
Junho_{i-1}	NS	0,242	NS	0,261	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Julho_{i-1}	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Agosto_{i-1}	NS	0,313	NS	0,290	NS	0,351	NS	NS	NS	NS
Setembro_{i-1}	NS	NS	NS	0,244	NS	0,313	NS	NS	NS	NS
Outubro_{i-1}	NS	0,264	NS	NS	NS	NS	-0,192	NS	0,197	0,175
Novembro_{i-1}	NS	NS	NS	0,179	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Dezembro_{i-1}	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,221	NS	NS
Janeiro_i	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Fevereiro_i	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Março_i	NS	NS	NS	NS	NS	0,259	NS	NS	NS	NS
Abril_i	NS	NS	0,224	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Maio_i	NS	NS	NS	NS	NS	0,273	NS	NS	NS	NS
Junho_i	NS	NS	NS	NS	-0,281	NS	NS	NS	NS	NS
Julho_i	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Agosto_i	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Setembro_i	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS: não significativo

Tabela 11. Coeficientes de correlação (nível de significância de 95%) entre as variáveis climáticas (Temperatura média, máxima e mínima; precipitação e Radiação solar para a espessura do lenho de início de estação (EW).

	Temperatura média		Temperatura máxima		Temperatura mínima		Precipitação		Radiação Solar	
	Blinaja	Duboçak	Blinaja	Duboçak	Blinaja	Duboçak	Blinaja	Duboçak	Blinaja	Duboçak
Junho_{i-1}	NS	0,277	NS	0,309	NS	0,244	NS	NS	NS	NS
Julho_{i-1}	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Agosto_{i-1}	NS	0,351	NS	0,347	NS	0,366	NS	NS	NS	NS
Setembro_{i-1}	NS	0,397	-0,238	0,360	NS	0,395	NS	NS	NS	0,155
Outubro_{i-1}	NS	0,227	NS	NS	NS	0,247	NS	NS	NS	NS
Novembro_{i-1}	NS	0,176	NS	0,191	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Dezembro_{i-1}	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,251	NS
Janeiro_i	NS	0,238	NS	0,228	NS	0,236	NS	NS	NS	NS
Fevereiro_i	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Março_i	NS	0,253	NS	NS	NS	0,282	NS	NS	NS	NS
Abril_i	0,262	0,281	0,288	0,263	NS	0,343	NS	NS	NS	NS
Maio_i	NS	0,408	NS	0,412	NS	0,390	NS	NS	NS	NS
Junho_i	NS	0,342	NS	0,371	NS	0,302	NS	NS	NS	NS
Julho_i	NS	NS	NS	0,272	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Agosto_i	NS	NS	NS	NS	NS	0,290	NS	NS	NS	NS
Setembro_i	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS: não significativo

Tabela 12. Coeficientes de correlação (nível de significância de 95%) entre as variáveis climáticas (Temperatura média, máxima e mínima; precipitação e Radiação solar para a espessura do lenho de final de estação (LW).

	Temperatura média		Temperatura máxima		Temperatura mínima		Precipitação		Radiação Solar	
	Blinaja	Duboçak	Blinaja	Duboçak	Blinaja	Duboçak	Blinaja	Duboçak	Blinaja	Duboçak
Junho_{i-1}	NS	NS	NS	0,224	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Julho_{i-1}	NS	0,221	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Agosto_{i-1}	NS	0,295	NS	0,261	NS	0,348	NS	NS	NS	NS
Setembro_{i-1}	NS	NS	NS	NS	NS	0,251	NS	NS	NS	NS
Outubro_{i-1}	NS	NS	0,222	NS	NS	NS	-0,194	NS	0,271	0,189
Novembro_{i-1}	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Dezembro_{i-1}	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,202	NS	NS
Janeiro_i	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,277	NS	NS
Fevereiro_i	NS	NS	NS	NS	NS	0,204	NS	NS	NS	NS
Março_i	NS	0,237	NS	NS	NS	0,259	NS	NS	NS	NS
Abril_i	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Maió_i	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Junho_i	-0,247	NS	NS	NS	-0,321	NS	NS	NS	NS	NS
Julho_i	NS	NS	-0,167	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Agosto_i	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Setembro_i	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS: não significativo

Para o RW (tabela 10) não se verificaram coeficientes de correlação para a temperatura média em Blinaja, apenas resultaram correlações para Duboçak e para os meses de junho ($r=0,242$; $p<0,05$), agosto ($0,313$; $p<0,05$) e outubro ($0,264$; $p<0,05$) do ano anterior. O EW apresentou correlações positivas com a variável climática temperatura média (tabela 11) para os dois locais, no entanto para Blinaja apenas se verificou uma correlação para o mês de abril do ano corrente ($r=0,262$; $p<0,05$), enquanto que para Duboçak resultaram correlações positivas para os meses de junho ($r=0,277$; $p<0,05$) e de agosto a novembro do ano anterior, assim como os meses de janeiro e de março a junho do ano corrente. Foram obtidos coeficientes mais elevados para o mês de setembro do ano anterior ($r= 0,397$; $p<0,05$) e para o mês de maio do ano corrente ($r=0,408$; $p<0,05$).

Em relação ao LW, a temperatura média apresentou uma correlação negativa para o mês de junho do ano corrente para Blinaja ($r=-0,247$; $p<0,05$) e correlações positivas para Duboçak e para os meses de julho e agosto ($r=0,221$ e $r=0,295$ respetivamente, $p<0,05$) do ano anterior e mês de março do ano corrente ($r=0,237$; $p<0,05$).

Os resultados para a temperatura máxima foram idênticos aos apresentados para a temperatura média. De destacar as correlações existentes para Blinaja (não se tendo verificado nenhuma para a temperatura média), com uma correlação para o RW no mês de abril do ano corrente ($r=0,224$; $p<0,05$). Para Duboçak, apresentam-se correlações positivas com a temperatura máxima para os meses de junho, agosto, setembro e novembro do ano anterior, para o RW, sendo

que o coeficiente de correlação é maior para o mês de agosto do ano anterior ($r=0,290$; $p<0,05$). Em Blinaja e para o EW, verificou-se uma correlação negativa com a temperatura máxima do mês de setembro do ano anterior e uma correlação positiva com a temperatura máxima do mês de abril do ano corrente. As árvores de Duboçak apresentaram correlações positivas entre o EW e a temperatura máxima para os meses de junho, agosto, setembro e novembro do ano anterior e para os meses de janeiro, e de abril a junho do ano corrente, verificando-se o maior coeficiente para o mês de maio ($r=0,412$; $p<0,05$). Para o LW e para Blinaja verificou-se que a temperatura máxima possui uma correlação positiva para o mês de outubro do ano anterior ($r=0,222$; $p<0,05$) e uma relação negativa para o mês de julho do ano corrente ($r=0,167$; $p<0,05$); enquanto que para Duboçak as correlações foram positivas e para os meses de junho e agosto do ano anterior.

Para a temperatura mínima, a parcela de Blinaja apresentou uma correlação negativa para o mês de junho do ano corrente para o RW ($r=-0,281$; $p<0,05$) e LW ($r=-0,321$; $p<0,05$), não se verificando coeficientes de correlação para o EW para esta variável. Para Duboçak, a temperatura mínima apresentou correlações positivas para o RW nos meses de agosto e setembro do ano anterior e nos meses de março e maio do ano corrente (coeficiente superior para o mês de agosto do ano anterior $r=0,351$; $p<0,05$). Para o EW, são apresentados para a temperatura mínima coeficientes de correlação para os meses de junho e de agosto a outubro do ano anterior e nos meses de janeiro, de março a junho e em agosto do ano corrente, destaca-se o mês de setembro do ano anterior com o maior coeficiente ($r=0,395$; $p<0,05$). Nesta parcela e para o LW, existem correlações positivas com a temperatura mínima para os meses de agosto e setembro do ano anterior e de fevereiro a março do ano corrente, com um coeficiente superior ($r=0,348$; $p<0,05$) para agosto do ano anterior.

Assim, em Duboçak a temperatura parece influenciar o crescimento do RW os meses de Verão/ início do Outono do ano anterior ao crescimento (de agosto a setembro). A variação do EW parece correlacionada com as temperaturas (máximas, médias e mínimas) nos meses de primavera/ início de verão do ano corrente de crescimento (de março a junho), sendo que o maior coeficiente é para o mês de maio e para a temperatura máxima, tendo-se obtido para esta parcela o maior número de coeficientes entre os três tipos de lenho analisados (RW, EW, LW) e as temperaturas (mínima, média e máxima). Já a variação do LW parece pouco influenciada pela temperatura. Para Blinaja, verifica-se pouca influência da temperatura nos crescimentos do RW, EW e LW devido aos poucos coeficientes obtidos.

A precipitação apresentou pouca influência no crescimento para os dois locais. Quando se considerou o RW apenas se obteve uma correlação negativa para o mês de outubro do ano anterior em Blinaja ($r=-0,192$; $p<0,05$) e uma positiva para Duboçak no mês de dezembro do ano anterior ($r=0,221$; $p<0,05$). Já para o EW em nenhum dos locais se verificaram relações com a precipitação e para o LW obteve-se uma correlação negativa para o mês de outubro do ano anterior ($r=-0,194$; $p<0,05$) para Blinaja e correlações positivas para os meses de dezembro do ano anterior ($r=0,202$; $p<0,05$) e janeiro do ano corrente ($r=0,277$; $p<0,05$) para Duboçak, verificando-se a influência da precipitação apenas no período de repouso vegetativo (inverno) para o crescimento do LW.

A radiação solar aparentou pouca influência no crescimento radial dos dois locais, tendo-se obtido poucas correlações: uma positiva para o mês de outubro do ano anterior para o RW dos dois

locais; assim como uma correlação positiva para o mês de dezembro do ano anterior para o EW de Blinaja e para o mês de setembro do ano anterior para o EW de Dubočak, quanto ao LW apenas se verificou-se uma correlação positiva em cada local para o mês de outubro do ano anterior.

Estudos efetuados para *Q. cerris* como o estudo feito por Stafasani and Toromani (2015) para povoamentos de *Q. cerris* com idades até 35 anos, apresentaram correlações negativas com as temperaturas do mês de junho do ano anterior e do mês de junho do ano corrente, sendo este fenómeno interpretado como o aumento de stress hídrico nesta altura do ano, devido à diminuição do crescimento radial associado à perda de água devida a evapotranspiração e evaporação no solo, apenas para a parcela Blinaja e para o RW e LW foi obtido uma correlação negativa para o mês de junho do ano corrente e para o valor da temperatura mínima, enquanto que nas restantes relações efetuadas, quando existem, os coeficientes são positivos, resultado que também não corresponde a estudos feitos para climas temperados continentais onde também se verifica o efeito negativo da temperatura no crescimento principalmente em árvores mais jovens (Stafasani and Toromani 2015). Em zonas com clima mediterrânico, os resultados de Cherubini *et al.* (2003) indicam que a precipitação do mês de agosto do ano corrente tem influência positiva no crescimento do *Q. cerris*. No entanto apenas se verificam correlações positivas para o mês de agosto do ano corrente quando se consideram as temperaturas médias, máximas e mínimas (nos dois locais) para os RW e EW e para o LW em Dubočak. Contrariamente a outras espécies como o *Q. ilex*, o *Q. cerris* não possui um período de dormência no verão, continuando o seu crescimento durante todo o período vegetativo.

4.2.2.2. CORRELAÇÕES ENTRE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA E AS TEMPERATURAS MÉDIAS

De forma a reforçar a análise, efetuou-se um estudo de coeficientes de correlação entre as espessuras dos anéis de crescimento (RW, EW, LW) e a precipitação acumulada de setembro (do ano anterior) ao mês de outubro (do ano corrente) e também com os valores médios da temperatura média nesses períodos. Os resultados obtidos apresentam-se na tabela 13.

Tabela 13. Coeficientes de correlação entre o cumulativo da precipitação e as temperaturas médias para o crescimento anual da espessura total do anel (RW), lenho de início (EW) e lenho de fim de estação (LW) para os dois locais de estudo ($p < 0,05$).

		Blinaja			Dubovak		
		RW	EW	LW	RW	EW	LW
Precipitação acumulada	Setembro _{i-1} - Novembro _{i-1}	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Dezembro _{i-1} - Fevereiro _i	NS	NS	NS	0,270	NS	0,252
	Março _i - Maio _i	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Junho _i - Agosto _i	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Média das temperaturas médias	Setembro _{i-1} - Novembro _{i-1}	NS	NS	NS	0,172	0,262	NS
	Dezembro _{i-1} - Fevereiro _i	NS	NS	NS	NS	0,273	NS
	Março _i - Maio _i	NS	NS	NS	NS	0,215	0,181
	Junho _i - Agosto _i	NS	NS	NS	NS	0,211	NS

NS – Não significativo

Analisando a tabela 13 não se verificaram correlações para o crescimento radial de Blinaja. Dubovak apresentou correlações positivas, tal como verificado na análise anterior (capítulo 4.2.2.1), entre os meses de dezembro do ano anterior e fevereiro do ano corrente para o RW e LW, indicando que a precipitação nestes meses influencia o crescimento radial desta espécie nesta parcela, relação também referida por Cherubini (2003) que destaca a influência da precipitação do mês de dezembro do ano anterior para o *Q. cerris*. Quanto à média das temperaturas médias ao longo do tempo, verificaram-se correlações positivas em Dubovak, principalmente para o EW, em que se obtiveram correlações para todos os intervalos de tempo considerados, evidenciando que para o clima em que as árvores de estudo cresceram, as temperaturas são importantes para o seu crescimento, com correlações positivas para o crescimento nos meses de repouso vegetativo desde o ano anterior ao crescimento estendendo-se até ao mês de fevereiro do ano corrente.

Tendo em conta as variáveis de temperatura média e precipitação, analisou-se a correlação entre os valores da temperatura média entre o mês de junho anterior e o mês de outubro do ano corrente, excluindo-se os meses de repouso vegetativo – desde novembro do ano anterior a março do ano corrente e considerou-se a precipitação média dos meses de junho a outubro do ano anterior e dos meses de abril a outubro do ano corrente. A análise foi feita para a espessura dos anéis de crescimento total (RW), lenho de início (EW) e lenho de fim de estação (LW), os resultados apresentam-se na tabela 14.

Tabela 14. Coeficientes de correlação entre a precipitação média as temperaturas médias para o crescimento anual da espessura total do anel (RW), lenho de início (EW) e lenho de fim de estação (LW) para os dois locais de estudo, excluindo-se os meses de repouso vegetativo do ano precedente ao crescimento.

		Blinaja			Dubočak		
		RW	EW	LW	RW	EW	LW
Precipitação média	Junho _{t-1} - Agosto _{t-1}	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Abril _t - Outubro _t	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Média das temperaturas médias	Junho _{t-1}	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Julho _{t-1}	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Agosto _{t-1}	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Setembro _{t-1}	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Outubro _{t-1}	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Abril _t	0,195	0,239	NS	NS	NS	NS
	Maior _t	NS	NS	NS	NS	0,219	NS
	Junho _t	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Julho _t	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Agosto _t	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Setembro _t	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Outubro _t	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS – Não significativo

Não foi encontrada nenhuma correlação significativa para o lenho de fim (LW) e para os dois locais em estudo.

Para o crescimento anual total (RW), apenas a temperatura média do mês de abril para as árvores de Blinaja apresentou um coeficiente de correlação ($r=0,195$; $p<0,05$), não se tendo encontrado qualquer correlação para Dubočak para este lenho.

Tendo em conta o crescimento do lenho de início de estação (EW), verificou-se correlação com a temperatura média do mês de abril do ano corrente em Blinaja (coeficiente de $0,239$; $p<0,05$) e para o mês de maio do ano corrente em Dubočak (coeficiente de $0,219$; $p<0,05$), reforçando a importância da temperatura média para o crescimento do EW nos meses do início de atividade vegetativa.

4.2.2.3. ANÁLISE DE ESTABILIDADE TEMPORAL DAS RELAÇÕES DENDROCLIMÁTICAS – TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO

Utilizou-se uma janela temporal de 30 anos (o cálculo é feito para os últimos 30 anos, começando no ano 1952 e depois com um intervalo de 1 ano) de forma a verificar as flutuações de cada variável ao longo das diferentes décadas, para as variáveis temperaturas e para os meses de junho a dezembro do ano anterior e de janeiro a setembro do ano corrente.

Os resultados são apresentados nas figuras 30 a 33, onde os meses com a mesma coloração ao longo do tempo apresentam maior estabilidade temporal, não apresentando alterações no sinal da correlação. As correlações significativas ($p < 0,05$) apresentam um asterisco (*).

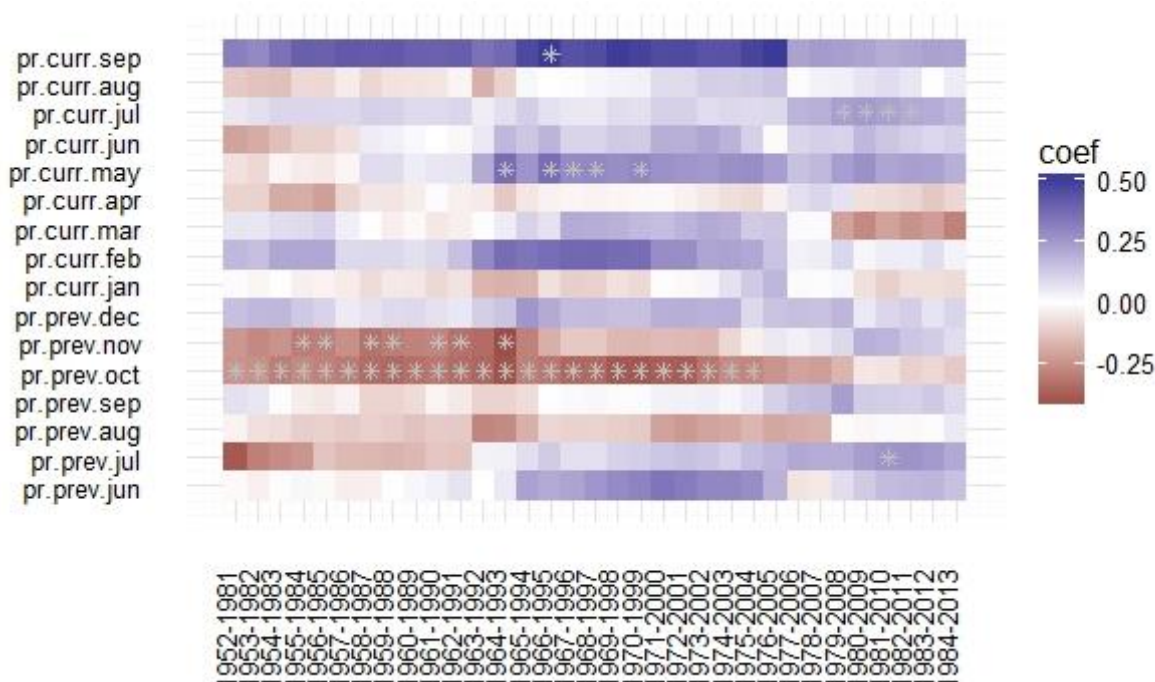


Figura 30. Estabilidade da variável precipitação para Blinaja e tendo em conta o crescimento total dos anéis de crescimento (RW).

Considerando a variação do crescimento RW para Blinaja (figura 30) com a precipitação, o mês de setembro do ano corrente possui estabilidade temporal ao longo de todo o crescimento do povoamento, possuindo sempre coeficientes positivos, apenas relevante ($p < 0,05$) para o intervalo entre 1966 e 1995; o mês de julho do ano corrente apresentou estabilidade ao longo do tempo com uma correlação positiva, relevante ($p < 0,05$) para o período de tempo de 1979 a 2011; e o mês de outubro do ano anterior apresentou estabilidade temporal com um coeficiente negativo e com significância ($p < 0,05$) para a maior parte da cronologia (abrange a análise para o intervalo cronológico de 1952 a 2004).

Analisando a estabilidade temporal para a temperatura em Blinaja (figura 31) o coeficiente de correlação dos meses de setembro, junho e julho do ano corrente manteve-se negativo apresentando significância para alguns dos intervalos cronológicos analisados nos três meses, sendo coincidentes os intervalos 1971 a 2000 e 1972 a 2001 para os três meses. Já os meses de janeiro do ano corrente e de novembro e outubro do ano anterior, apresentam coeficientes positivos para a temperatura média, destacando-se com significância apenas alguns intervalos no mês de novembro.

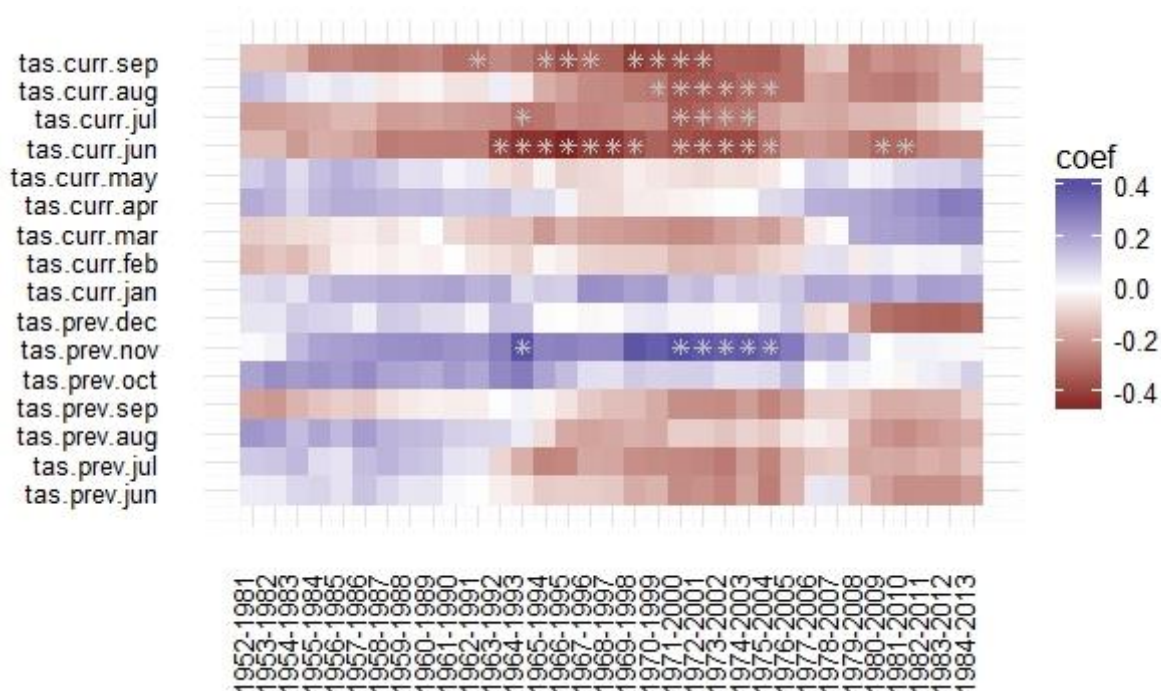


Figura 31.Estabilidade da variável temperatura média para Blinaja e tendo em conta o crescimento total dos anéis de crescimento (RWW).

Para Duboçak, a análise da precipitação (figura 32), apresentou estabilidade temporal para os meses de janeiro, abril e maio do ano corrente e o mês dezembro do ano anterior, com coeficientes positivos, havendo alguns intervalos de tempo com significância à exceção do mês de abril para o qual não são sinalizados intervalos de tempo significativos. Já os meses de junho e novembro do ano anterior apresentaram coeficientes negativos que se mantêm estáveis ao longo do tempo, com significância para o intervalo de tempo de 1955 a 1990 para o mês de novembro e de 1981 a 2011 para o mês de junho.

Quanto à análise feita para a temperatura (Figura 33), em Duboçak verificou-se apenas estabilidade temporal dos coeficientes dos meses de agosto, novembro e dezembro do ano anterior, apresentando coeficientes positivos.

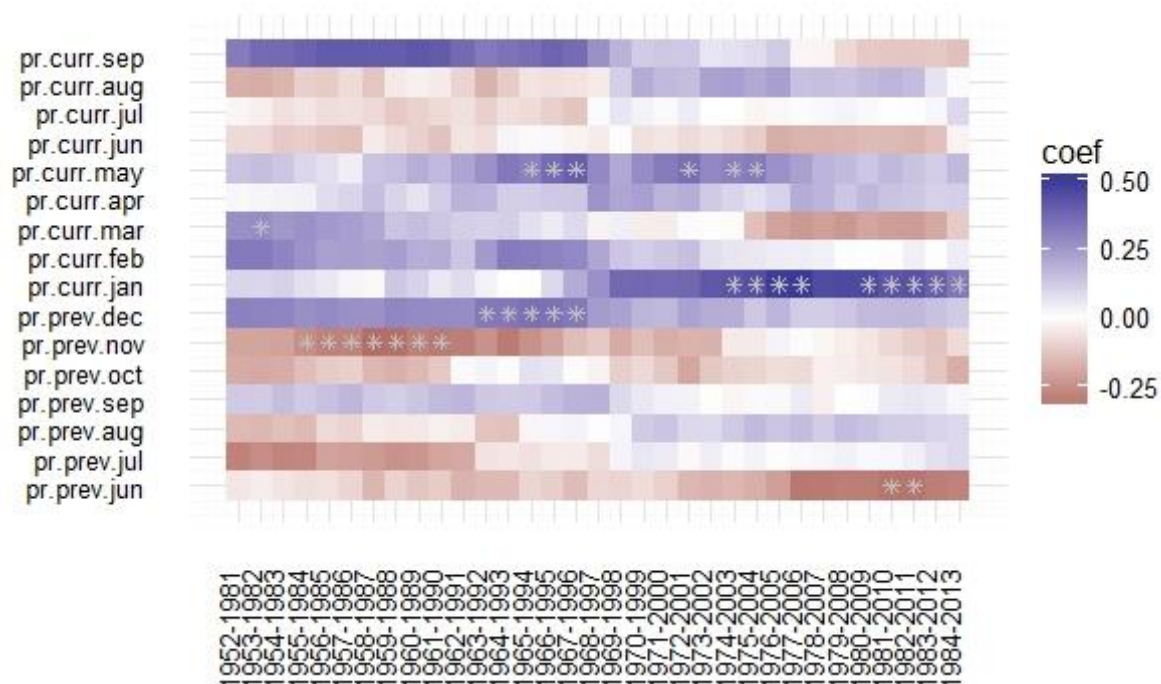


Figura 32. Estabilidade da variável precipitação para Duboçak e tendo em conta o crescimento total dos anéis de crescimento (RW).

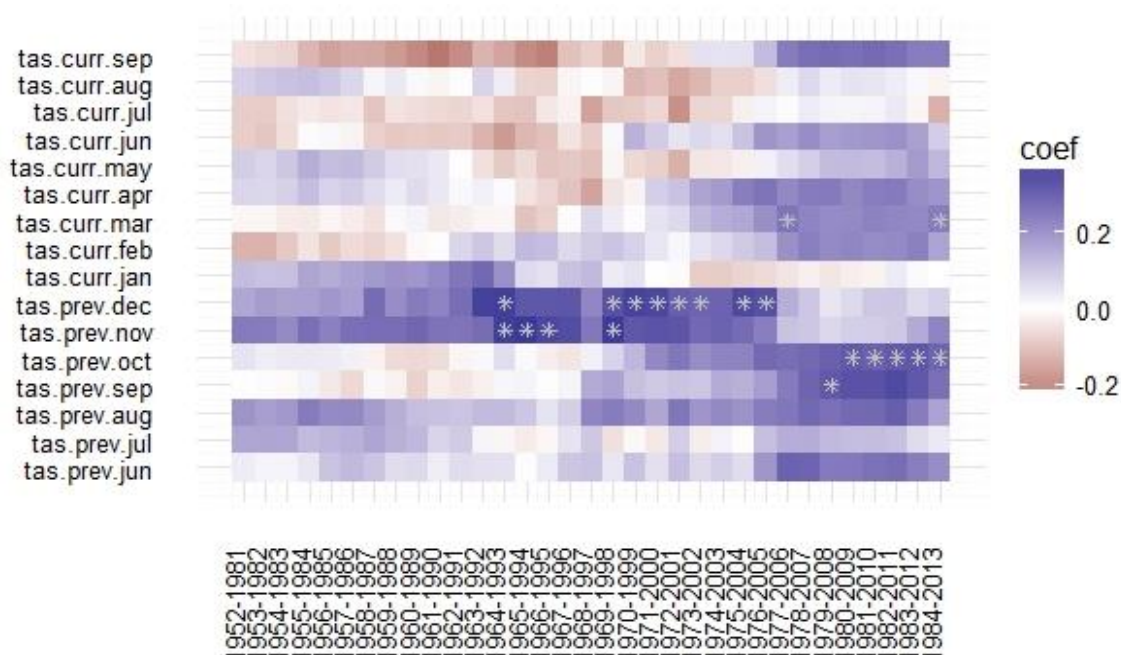


Figura 33. Estabilidade da variável temperatura média para Duboçak e tendo em conta o crescimento total dos anéis de crescimento (RW).

Com os resultados obtidos na análise da estabilidade temporal para a precipitação e temperatura média, os dois locais possuem comportamentos distintos ao longo do tempo. Para a precipitação, Blinaja pareceu possuir menos meses estáveis para esta variável que Duboçak, não se verificando ainda estabilidade comum para os dois locais em nenhum dos meses. No entanto verificou-se uma tendência para as correlações com a precipitação serem positivas nos meses de

primavera, nomeadamente o mês de maio, que apresentaram uma estabilidade na totalidade da cronologia analisada para Duboçak. Apesar de não ser na totalidade da cronologia, em Blinaja também se verificou uma estabilidade temporal na maioria da cronologia analisada para o mês de maio, uma vez que a partir de 1958 todas as correlações apresentaram sinal positivo, realçando que a precipitação na altura de início de atividade vegetativa tem influência positiva no crescimento radial das árvores.

Tal como para a precipitação, os resultados para a avaliação da estabilidade temporal da temperatura média são distintos para os dois locais. Verifica-se uma concordância para o mês de novembro do ano anterior, com coeficientes positivos para os dois locais.

4.2.2.4. ANÁLISE DE CORRELAÇÕES TEMPORAIS

Uma vez que o crescimento das árvores pode ser resposta a diferentes tipos de variáveis climáticas ao longo de diferentes períodos de tempo, efetuou-se uma análise para identificar sinais climáticos mensais de outros períodos de tempo (neste caso de 3 e 6 meses), tendo em conta duas variáveis climáticas (precipitação e temperatura média), em que uma é considerada como principal e outra como secundária. A relação entre o crescimento e a variável climática primária/principal apresenta-se na forma de correlações simples, enquanto que as relações com as variáveis secundárias são correlações parciais, controladas pela influência da variável primária. Esta análise foi efetuada para as variáveis climáticas de temperatura média e precipitação para os dois locais (Blinaja e Duboçak) e para a totalidade de crescimento dos anéis (RW). Fez-se a análise abrangendo os meses de agosto a dezembro de ano anterior e os meses de janeiro a setembro do ano corrente e para as periodicidades de 1, 3 e 6 meses.

São apresentados os resultados, tendo em conta a temperatura média como variável primária e a precipitação como variável secundária (figuras 34 e 35) e o inverso (precipitação como variável primária e temperatura como secundária – figuras 36 e 37).

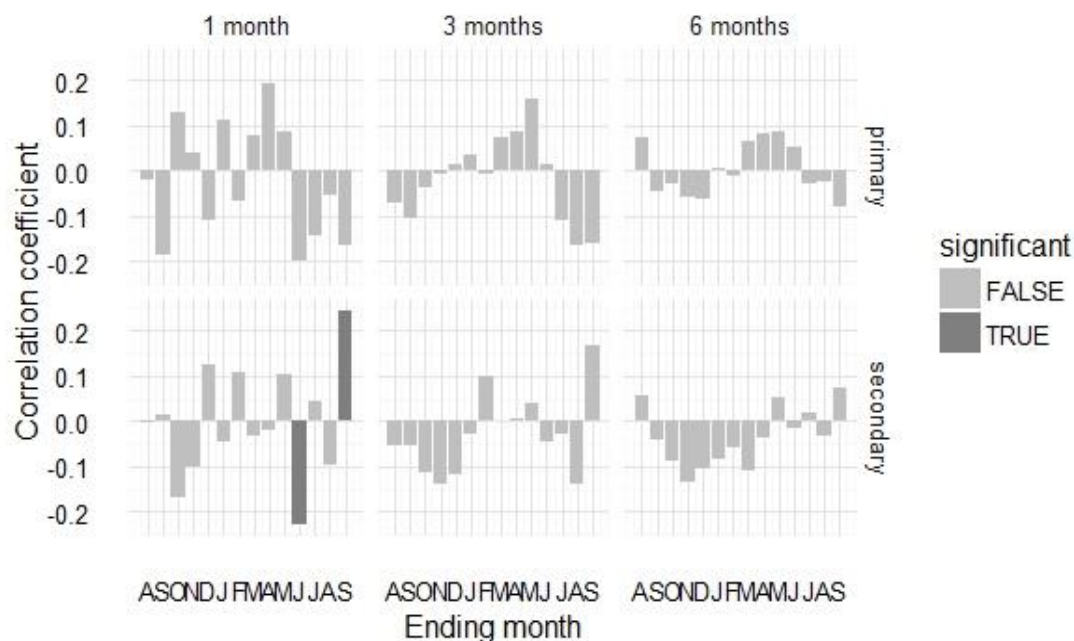


Figura 34. Resultado de análise periódica de crescimento de *Q. cerris* na parcela Blinaja, com a temperatura como variável primária e precipitação como variável secundária.

Pela análise da figura 34, não se verificou qualquer relação estatística significativa ($p < 0,05$) da temperatura média para Blinaja. Apenas se verificaram relações parciais para a precipitação (negativa no mês de junho do ano corrente e positiva no mês de setembro do ano corrente) e para o período de um mês.

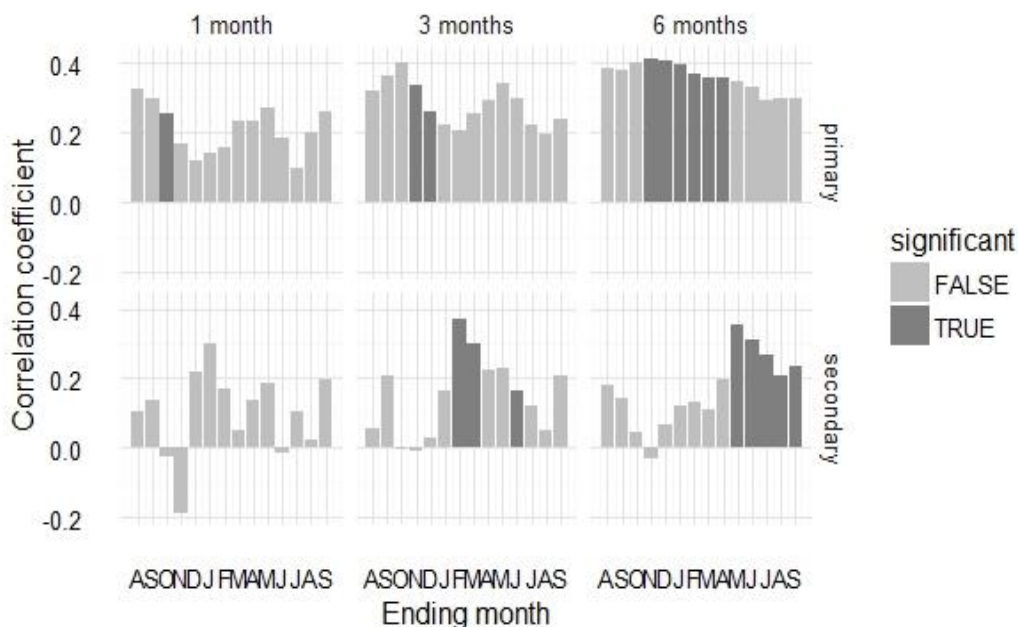


Figura 35. Resultado de análise periódica de crescimento de *Q. cerris* na parcela Duboçak, com a temperatura como variável primária e precipitação como variável secundária.

Para Duboçak (figura 35), verifica-se a relação significativa ($p < 0,05$) da temperatura média com os meses da estação de repouso vegetativo (de novembro do ano anterior a abril do ano

corrente), quando se considerou um período de seis meses. Este resultado mantém-se consistente para o período de 3 meses (meses novembro e dezembro do ano anterior). Para a periodicidade de 1 mês, a correlação apenas pareceu ser significativa para o mês de outubro do ano anterior.

Fazendo-se a análise considerando a precipitação como variável primária e a temperatura média como variável secundária foram obtidos os resultados apresentados na figura 36 para Blinaja e na figura 37 para Dubočak.

Tal como verificado na análise anterior (figura 34), não se verificaram relações muito significativas para Blinaja, apenas resultou uma correlação positiva significativa para a temperatura do mês de setembro do ano corrente e uma correlação parcial negativa para a precipitação do mês de junho do ano corrente e apenas para um período de 1 mês.

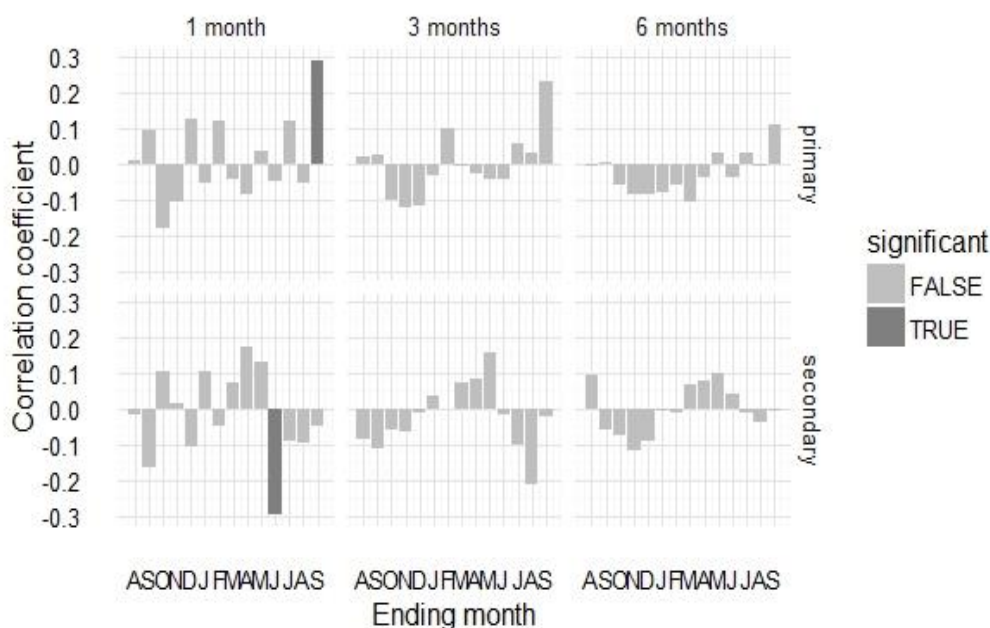


Figura 36. Resultado de análise periódica de crescimento de *Q. cerris* na parcela Blinaja, com a precipitação como variável primária e temperatura como variável secundária.

Para Dubočak (figura 37), verificou-se uma de correlação positiva para a precipitação no mês de fevereiro do ano corrente para uma periodicidade de 3 meses e correlações positivas parciais para a temperatura nos meses de novembro, dezembro, abril e maio do ano anterior para periodicidade de três meses. Para uma periodicidade de 6 meses, as correlações parciais para a temperatura abrangeram os meses de agosto e dezembro do ano anterior e de janeiro a junho do ano corrente.

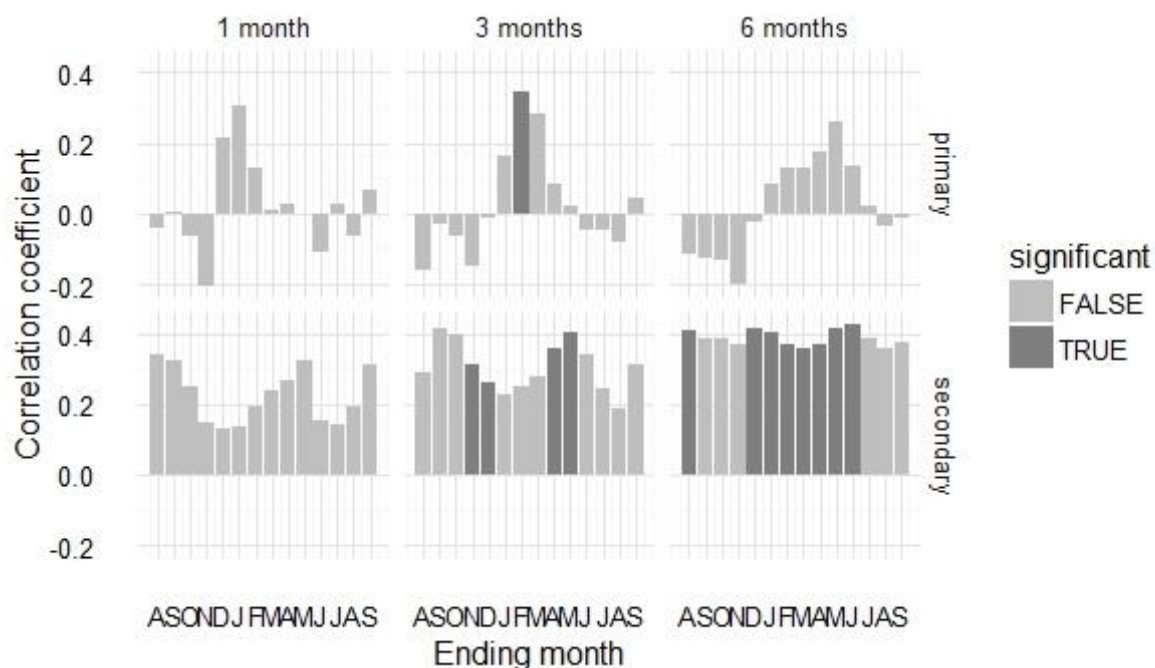


Figura 37. Resultado de análise periódica de crescimento de *Q. cerris* na parcela Duboçak, com a precipitação como variável primária e temperatura como variável secundária.

Assim para as análises efetuadas e apresentadas nas figuras 35 a 37, verifica-se que Blinaja apresentou poucas correlações para as duas análises independentemente de qual a variável principal e secundária, uma vez que apenas resultaram correlações para o período de 1 mês e para poucos meses ao longo do ano, não permitindo relacionar o crescimento com nenhuma das variáveis.

Para Duboçak verificou-se um aumento do número de correlações significativas, com o aumento da periodicidade considerada, obtendo-se maior número de correlações para o período de seis meses. Com a temperatura como variável principal, verificou-se uma correlação positiva entre o crescimento do RW e as temperaturas médias nos meses de repouso vegetativo (referentes aos meses de novembro do ano anterior até abril do ano corrente) e correlações parciais positivas com a precipitação (após a remoção do efeito da temperatura) para a época de início de atividade vegetativa do ano corrente, nos meses de maio a setembro (primavera/verão). Ao remover o efeito da precipitação e considerando a temperatura como variável secundária, manteve-se a correlação da temperatura média nos meses de repouso vegetativo e que se estende até os meses de início de atividade vegetativa até junho do ano corrente, sem se verificarem correlações significativas com a precipitação (variável principal).

4.3. DETERMINAÇÃO DA DUREZA DE BRINELL

Os resultados da análise da dureza de Brinell apresentam-se na tabela 15, onde se referem os valores médios, máximos e mínimos obtidos para cada uma das parcelas.

Tabela 15. Resultados dos ensaios de dureza para as duas parcelas de amostragem.

Local amostrado	média \pm Desvio padrão (N.mm ⁻²)	Máximo (N.mm ⁻²)	Mínimo (N.mm ⁻²)
Blinaja	38,48 \pm 3,88	48,45	29,99
Duboçak	33,90 \pm 5,25	47,60	23,45

A parcela de Blinaja, apresentou um valor de dureza médio superior (38,48 N.mm⁻²) que a parcela de Duboçak (33,90 N.mm⁻²).

Na figura 38 apresenta-se a distribuição da dureza por três classes (20-30, 30-40 e 40-50), verificando-se que para os dois locais de estudo, a maioria das amostras apresentou uma dureza situada na classe 30-40 com frequências entre os 60 e 70%.

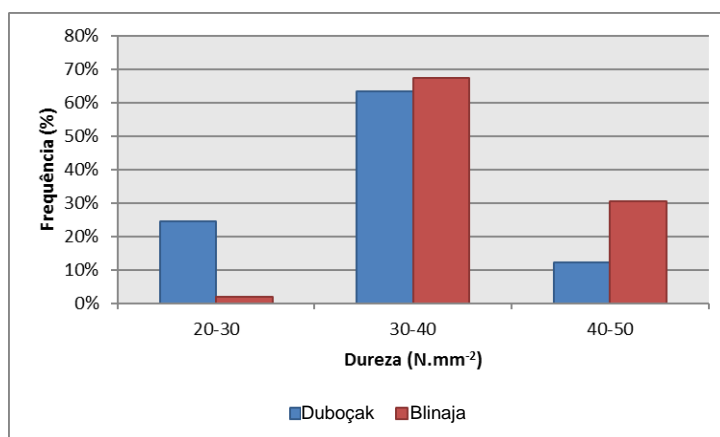


Figura 38. Distribuição pelas classes 20-30; 30-40; 40-50.

O valor médio da dureza obtido para o *Q. cerris* dos dois locais de estudo foi inferior à encontrada para o *Q. faginea* de 50 N.mm⁻² (Ramos 2009) e para o *Q. suber* de 56 N.mm⁻² (Knapic et al. 2012). Carvalho (1997) apresenta um valor de dureza de 80 N.mm⁻² para o *Q. cerris*, valor este superior ao obtido para as duas parcelas (sendo quase o dobro do valor médio obtido, mesmo quando se considera o valor máximo de 48,45 N.mm⁻² para a parcela de Blinaja). Valores bastante inferiores foram registados em resinosas, atingindo cerca de 13 a 25 N.mm⁻² (Knapic et al. 2012).

A EN 14354 (European Standard EN 14354, 2004) faz referência aos valores da dureza tendo em conta diferentes utilizações de madeiras, considerando a madeira com dureza superior a 20 N.mm⁻² apta para todos os tipos de pavimento domésticos e considera a madeira com dureza superior a 30 N.mm⁻² para utilização em áreas comercial, apenas de uso moderado. Uma dureza 10 N.mm⁻² é o valor mínimo admitido para a utilização de madeiras para pavimentos. Assim, tendo em conta os resultados obtidos, a madeira analisada das duas parcelas, pode ser considerada apta para pavimentos domésticos (dureza superior a 20 N.mm⁻²) e para uso moderado em áreas comerciais (dureza superior a 30 N.mm⁻²)

Considerando os resultados obtidos na análise de proporção vasos por anel para cada um dos locais de estudo, apresenta-se a tabela 16 com a comparação entre a proporção média de cada local e a dureza média obtida. A proporção de vasos indica a área porosa de uma madeira em percentagem e considera-se que uma madeira menos porosa possui uma maior dureza (por possuir menor percentagem de “espaços vazios”). Assim, e tal como esperado, os valores obtidos refletem que a madeira com maior percentagem de vasos (mais porosa), possui menor dureza, verificando-se que para Duboçak com uma proporção média de 12,9% corresponde uma dureza de 33,903 N.mm⁻² (o valor médio menor), enquanto que Blinaja com uma proporção média de vasos inferior com 10,9% possui uma dureza de 38,478 N.mm⁻².

Tabela 16. Relação entre a proporção de vasos e a dureza

Local	Proporção média (%)	Dureza
Duboçak	12,9	33,903
Blinaja	10,9	38,478

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo fazer uma caracterização da madeira de *Q. cerris* abrangendo três vertentes para duas parcelas de estudo:

- Anatômica, através da análise dimensional dos vasos e das relações entre os vários parâmetros biométricos determinados.
- Dendroclimatologia, analisando a relação entre o crescimento dos anéis de crescimento e as variáveis climáticas de cada local. Tendo-se feito a análise para os anéis de crescimento espessura total (RW), lenho de início (EW) e de final (LW) de estação.
- Dureza, avaliando-se a potencialidade de utilização tecnológica da madeira, principalmente para utilização em pavimentos.

Os resultados das análises anatômicas efetuadas permitem concluir que a espécie de estudo possui características semelhantes a outros carvalhos nativos de Portugal como o *Q. faginea*, nomeadamente em relação à caracterização dos vasos. Também se conclui pela análise dendroclimática, que os resultados obtidos são semelhantes a estudos feitos para a região mediterrânica e para a mesma espécie, podendo destacar-se as variáveis de precipitação no início da primavera do ano corrente e no mês de outubro do ano anterior como as mais influentes no crescimento desta espécie, relação que também se verificou na análise de estabilidade temporal efetuada.

No entanto, dada a fraca qualidade das cronologias analisadas, nomeadamente quando se considera o índice EPS, não foi possível considerar as relações obtidas entre o crescimento radial das árvores e os fatores climáticos estudados como sendo relações consistentes e coesas ou destacar apenas um dos fatores climáticos como a principal influência do crescimento radial da espécie em estudo. No entanto, um aumento da amostragem (nº de árvores por local) poderá melhorar a qualidade das cronologias obtendo-se relações mais coesas quanto à influência das variáveis climáticas. Por outro lado, poderá ser feita a análise mais detalhada para os anos, cujo registo climatológico apresente alguma anomalia temporal, como por exemplo um ano em que as temperaturas e/ou precipitação sejam anormalmente mais altas ou baixas.

Quanto à análise de dureza efetuada, os resultados dão uma indicação preliminar sobre a potencialidade de utilização de madeira de *Q. cerris* proveniente de áreas com climas continentais como é o caso do Kosovo, em usos mais “nobres” que vão para além da sua utilização mais comum como combustível para queima. A dureza média encontrada parece ser inferior à de outros carvalhos existentes nas zonas mediterrânicas, mas ainda assim, os valores de dureza médios obtidos, permitiram classificar a madeira dos dois locais como apta para a utilização em todos os tipos de pavimento doméstico e em áreas comerciais com uso moderado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Borzan Z. (2016) In “Go botany. Discover thousands of New England plants”, disponível em <https://gobotany.newenglandwild.org/species/quercus/cerris/>, consultado a 27 de dezembro de 2016

Bunn A. (2008) A dendrochronology program library in R (dp1R). *Dendrochronologia* 26: 115-124

Campelo F., Nabais C., Freitas H., Gutiérrez E. (2006) Climatic significance of tree-ring width and intra-annual density fluctuations in *Pinus pinea* from a dry Mediterranean area in Portugal. *Ann For Sci* 64: 229-238

Carvalho A. (1996) *Madeiras portuguesas* (Vol. I). Lisboa: Instituto Florestal.

Carvalho A. (1997) *Madeiras portuguesas* (Vol. II). Lisboa: Direcção-Geral das Florestas.

Carvalho J., Alves P.C., Grosso-Silva J.M., Múrias dos Santos T. (2007a) Biologia e ecologia das florestas de Carvalho-negral. In Silva J.S (coord.): Os Carvalhais, um património a conservar. Col. Árvores e Florestas de Portugal, 02. Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento/ Público/ Liga para a Protecção da Natureza. Lisboa. pp 99-118.

Carvalho J., Santos J.A., Reimão D. (2007) Utilizações do Carvalho-roble. In Silva J.S (coord.): Os Carvalhais, um património a conservar. Col. Árvores e Florestas de Portugal, 02. Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento/ Público/ Liga para a Protecção da Natureza. Lisboa. pp 203-210.

Carvalho J., Santos J.A., Reimão D., Santos J. (2007b) A valorização dos carvalhais. In Silva J.S (coord.): Os Carvalhais, um património a conservar. Col. Árvores e Florestas de Portugal, 02. Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento/ Público/ Liga para a Protecção da Natureza. Lisboa. pp 121-136.

Cherubini P., Gartner B., Tognetti R., Bräker O., Schoch W., Innes J. (2003) Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from Mediterranean climates. *Biol. Rev* 78: 119-148. Doi: 10.1017/S1464793102006000

Di Filippo A., Alessandrini A., Biondi F., Blasi A., Portoghesi L., Piovesan G. (2010) Climate change and oak growth decline: Dendroecology and stand productivity of a Turkey oak (*Quercus cerris* L.) old stored coppice in Central Italy. *Ann For sci* 67 (7): 706.

Fahn A. (1990) *Plant Anatomy*, 4th ed. Pergamon Press, Oxford, pp 558.

Fischesser B. (2005) *Conhecer as árvores. 3ª Edição*. Colecção Agro. Publicações Europa-América. 152-153.

Freas A.D. (1995) Wood properties in wood engineering and construction handbook. 2th ed. McGraw-Hill inc.

Fritts H.C. (1976) *Tree rings and climate*. Academic Press Inc. (London) LTD.

Gonçalves G.V. (2007) Dendrocronologia: princípios teóricos, problemas práticos e aplicabilidade. Centro Interdisciplinar de História, Culturas e Sociedades da Universidade de Évora (CIDEHUS/UE).

Hughes M.K. (2002) Dendrochronology in climatology - the state of the art. *Dendrochronologia* , 20/1-2, pp. 95-116.

Humphries C.J., Press J.R., Sutton D.A. (2005) *Árvores de Portugal e Europa*. Guia FAPAS. 2ªEdição Portuguesa. 128-129.

ICNF (2013). IFN6 – Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental. Resultados preliminares. [pdf], 34 pp, Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa.

Knapic S. (2007) Utilizações da madeira do Carvalho-português. In Silva J.S (coord.): Os Carvalhais, um património a conservar. Col. Árvores e Florestas de Portugal, 02. Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento/ Público/ Liga para a Protecção da Natureza. Lisboa. pp 47-53.

Knapic S. (2013) Diversification of cork oak stands traditional production management: A review. In: Oak: Ecology, Types and Management. Nova Science Publishers, Inc. (pp 151-171). ISBN: 978-1-61942-492-0.

Knapic S., Louzada J.L., Leal S., Pereira H. (2007) Radial variation of wood density components and ring width in cork oak trees. *Ann For Sci* 64:211-218.

Knapic S., Machado J.S., Pereira H. (2012) Properties of cork oak wood related to solid wood flooring performance. *Constructions and building materials*. **30**: 569-573.

Knapic S., Pinto Seppä I., Usenius A., Pereira H. (2011) Stem modelling and simulation of conversion of cork oak stems for quality wood products. *European Journal of Forest Research*. 130 (5): 745-751. Doi: 10.1007/s10342-010-0467-z

Lauw A.M.R.F. (2011) Estudo de anéis anuais de crescimento de árvores como indicadores climáticos em Portugal. Tese apresentada para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia.

Lavisci B.P, Scalbert A. (1991) Quality of Turkey Oak (*Quercus cerris* L.) Wood. I.Soluble and Insoluble Proanthocyanidins. *Holzforschung*. Vol 45. Nº4: 291-296.

Leal S., Sousa V., Pereira H. (2007) Radial variation of vessel size and distribution in cork oak wood (*Quercus suber* L.). *Wood Sci Technol* 41: 339-350 Doi: 10.1007/s00226-006-0112-7

Leal, S., Nunes, E., & Pereira, H. (2008). Cork oak (*Quercus suber* L.) Wood growth and vessel characteristics variations in relation to climate and cork harvesting. *European Journal of Forest Research*, 127, pp. 33-41.

Linder M., Maroachek M., Netherer S., Kremer A., Barbati A., Garcia-Gonzalo J., Seidl R., Delzon S., Corona Ap., Kolström M., Lexer M.J., Marchetti M. (2010) Climate change impacts, adaptative capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 259: 698-709.

Little C.O. (1997) An introduction to wood anatomy characteristics common to softwoods & hardwoods. University of Kentucky College of Agriculture, Lexington and Kentucky State University. Frankfort. Disponível em <http://www2.ca.uky.edu/agcomm/pubs/for/for59/for59.pdf>, consultado a 2 de Maio de 2016.

MOTIVE – The Project Models for Adaptive Forest Management (s/d). Temperate Continental Region: Potential impacts of climate change on forest goods and services. Educational material. Disponível em <http://www.motive-project.net>, consultado a 4 de Março de 2017.

Ramos S.I.N. (2009) Caracterização das propriedades mecânicas e durabilidade biológica da madeira de *Quercus faginea*. Tese apresentada para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia.

Rigo D., Enescu C.M., Houston Durrant T., Caudullo G. (2016) *Quercus cerris* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: San-Miguel-Ayans J., de Rigo D., Caudullo G., Houston Durrant T., Mauri A. (Eds.) *European Atlas of Forest Tree Species*. Publ. Off.EU, Luxembourg: 148-149.

Romagnoli M and Codipietro G. (1996) *Pointer years and growth in Turkey oak (Quercus cerris L) in Latinum (central Italy). A dendroclimatic approach*) *Ann For Sci* 53. 671-684

Sen A. (2012) Caracterização e fraccionamento da casca de *Quercus cerris* para a separação da cortiça tendo em vista a sua utilização em aglomerados. Tese apresentada para a obtenção do grau de doutor em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia.

Silva J. (2007) O Carvalho-português e as antigas florestas do Litoral Centro - Introdução. In Silva J.S (coord.): Os Carvalhais, um património a conservar. Col. Árvores e Florestas de Portugal, 02. Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento/ Público/ Liga para a Protecção da Natureza. Lisboa. pp 13-14

Sousa V., Cardoso S., Pereira H. (2013) Ring width variation and heartwood development in *Quercus faginea*. Wood and fibre science 45: 405-414.

Sousa V., Leal S., Quilhó T. (2009) Characterization of cork oak (*Quercus suber*) wood anatomy. IAWA Journal. Vol. 30 (2): 149-161.

Sousa V., Louzada J.L., Pereira H. (2015) Earlywood vessel features in *Quercus faginea*: relationship between ring width and wood density at two sites in Portugal. iForest 8: 866-873.

Sousa V.M.P.R.B (2013) Variabilidade anatómica e da densidade da madeira de *Quercus faginea* em diferentes idades e condições ambientais. Tese apresentada para a obtenção do grau de doutor em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais. Lisboa. Instituto Superior de Agronomia.

Stafasani M and Toromani E (2015) Growth-Climate Response of young turkey oak (*Quercus cerris* L.) Coppice Forest Stands along Longitudinal Gradient in Albania. SEEFOR – South-east Erupean Forestry. 6. 25-38.

Stojanovic D., Levanic T., Martovic B., Galic Z., Backalic T (2014) The Danube water level as a driver of poor growth and vitality of trees in the mixed pedunculate oak-Turkey oak stand (in Serbian with English summary), Sumarstvo 3-4: 153-160.

Todaro L. (2012) Effect of steaming treatment on resistance to footprints in Turkey oak wood flooring. European Journal of wood and wood products. Vol 70: 209-214.

Tsoumis G. (1991) Science and Technology of wood. Structure, Properties, Utilization. Van Nostrand Reinhold. Nova Iorque

UNECE/FAO TIMBER database, 1964-2013, compilado em Dezembro de 2015.

Uslu E., Bakis Y., Babaç M.T. (2011) A study on biogeographical distribution of Turkish oak species and their relations with Anatolian diagonal. Acta Botanica Hungaria 53 (3-4): 423-440.

Wilson R & Elling W (2004) Temporal instability in tree-growth/climate response in the Lower Bavarian Forest region: implications for dendroclimatic reconstruction. Trees 18: 19-28. DOI: 10.1007/s00468-003-0273-z